



Tugas Akhir - MN 141581

TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS- LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA PONDASI MESIN KAPAL

**Try Arismunandar
NRP 4112100055**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprastyo Akbar Putra, S.T, M.Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS-
LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA
PONDASI MESIN KAPAL**

**Try Arismunandar
NRP 4112100055**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN 141581

**ULTRASONIC TESTING TECHNIQUES FOR DIFFERENT
THICKNESS BASE METAL WELD AREA AT SHIP ENGINE
ROOM FOUNDATION**

**Try Arismunandar
NRP 4112100055**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS- LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA PONDASI MESIN KAPAL

TUGAS AKHIR

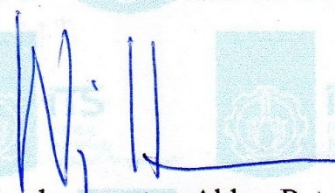
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRY ARISMUNANDAR

NRP 4112100055

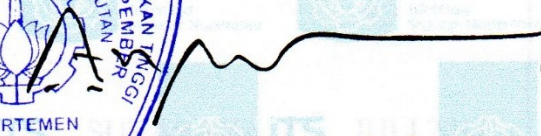
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:


Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng
NIP 1970.0615.1995.12.1001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan




Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 20 JULI 2017

LEMBAR REVISI

TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS- LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA PONDASI MESIN KAPAL

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 20 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRY ARISMUNANDAR
NRP 4112100055

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T, M.T.

2. Totok Yulianto, S.T, M.T.

3. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng.

SURABAYA, 20 JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warohmatullohiwabarokatuh.

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia dan hidayah-NYA Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Solawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW yang telah memberi petunjuk dan acuan terhadap seluruh umat manusia. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung, yaitu:

1. Bapak Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan-FTK ITS.
3. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D., Bapak Muhammad Nurul Misbach, S.T, M.T., Bapak Doni Setyawan, S.T, M.Eng., Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T., Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T, M.T., dan Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T, M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T., selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc selaku Kepala Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas izin pemakaian fasilitas laboratorium.
6. Ayahanda Nawawi, S.Sos dan Ibunda Husna Dewi S.Pd, terima kasih atas segala do'a dan kasih sayangnya kepada penulis.
7. Kakak-kakak tersayang Maria Navratilova, S.E, M.H, dan Jimmy Bunga Mayang, S.T, M.Sc, serta adik tercinta Anggraini Rahma Putri yang telah mensupport penulis.
8. Pak Pardi, Pak Dedi, Pak Fairil, Mas Joko, Pak Deny, Mas Ergie, Mas Agil, Pak Wawan, terima kasih atas kebaikannya membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keluarga Teknik Perkapalan ITS 2012 "FORECASTLE P52".
10. Teman-teman Generasi "Ayok" Mas Ais, Harisuddin, Pram, Alif, Rafid, dan teman-teman "Kismis" Yusal, Pandu Audit, dan Habibi terima kasih atas segala kebaikannya.
11. Teman-teman satu dosen pembimbing Nona Theresia, Pradesta Wienpy, dan Rizky Andrianto terima kasih atas referensi-referensinya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum warohmatullohiwabarokatuh

Surabaya, Juli 2017

Try Arismunandar

TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS-LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA PONDASI MESIN KAPAL

Nama Mahasiswa : Try Arismunandar
NRP : 4112100055
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng.

ABSTRAK

Dalam suatu pembangunan kapal penggabungan material umumnya sekarang dilakukan dengan pengelasan. Pengelasan-pengelasan yang terjadi dalam pembangunan sebuah kapal baik di geladak, lambung, bangunan atas, dan ruangan muat harus mempunyai standar dan teknik inspeksi las khusus agar tidak terjadi kegagalan yang dapat mengakibatkan kerugian. Untuk beberapa jenis sambungan las perlu dilakukan analisa teknik pengujian las-lasan dengan menggunakan gelombang ultrasonik untuk menentukan letak diskontinuitas yang terdapat di dalam las-lasan.

Analisa yang dilakukan yaitu menggunakan tiga buah sambungan las-lasan dengan variasi ketebalan logam induk, diantaranya pengelasan langsung yang logam induknya memiliki ketebalan yang berbeda, membuat *chamfered* material terlebih dahulu sebelum dilakukan pengelasan, dan pengelasan T Joint yang *base metal* nya memiliki ketebalan yang berbeda. setelah itu dibuat diskontinuitas pada hasil las-lasan tersebut, dimana material dengan pengelasan langsung memiliki diskontinuitas dengan jarak 16, 12, 10, dan 5 mm dari root, pada *chamfered material* memiliki diskontinuitas dengan jarak 10 dan 5 mm dari *root*, dan pada sambungan *T joint* memiliki diskontinuitas dengan jarak 50 dan 46 mm dari bawah permukaan material yang lebih tebal. Diskontinuitas yang dibuat masing-masing berdiameter 2 mm. Pengecekan pada daerah pengelasan dilakukan dengan menggunakan *probe* 45°, 60°, 70°, dan normal. Inspeksi dilakukan dengan menggunakan pancaran gelombang ultrasonik dari sisi-sisi yang telah diberi tanda yaitu sisi A1, B1, A2, B2 dengan dua diskontinuitas, sisi C1, D1, C2, D2 dengan satu diskontinuitas, dan sisi E1, E2, F1, F2 dengan satu diskontinuitas.

Hasil pengujian ultrasonik yang dilakukan menunjukkan bahwa tidak semua *probe* dapat diaplikasikan untuk pengujian dengan gelombang ultrasonik, *probe* 45° hampir tidak dapat diaplikasikan pada semua sisi pengujian material pengelasan langsung dan *chamfered material*, tetapi untuk *T joint* penggunaan *probe* 45° dapat diaplikasikan. *Probe* 60° dan 70° efektif untuk diaplikasikan pada semua jenis sambungan kecuali *T joint* . Pengujian dari sisi *base metal* yang lebih tebal memiliki keakuratan yang lebih baik dalam menentukan lokasi diskontinuitas dibandingkan dari sisi yang lebih tipis.

Kata kunci: Ultrasonik, Inspeksi, Pengelasan, logam, NDT, baja karbon, *chamfered material*.

ULTRASONIC TESTING TECHNIQUES FOR DIFFERENT THICKNESS BASE METAL WELD AREA AT SHIP ENGINE ROOM FOUNDATION

Author : Try Arismunandar
ID No. : 4112100055
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng

ABSTRACT

In a ship-building material joint is now generally carried out by welding. Welds that occur in the construction of a ship on deck, hull, superstructure , and cargo hold shall have special welding inspection standards and techniques in order to avoid failure. In some types of welded joints, it is necessary to analyze welding testing techniques using ultrasonic waves to determine the location of the discontinuities located in the welds.

Analysis is conducted using three welded connections with a variation of base metal thickness. First sample has different thickness with no chamfered, second sample has chamfer on one plate, and last sample is T joint. After which a discontinuity is made to the resultant welding, where the material with no chamfer has a discontinuity of 16, 12, 10, and 5 mm from the root, in the chamfered material having a discontinuity of 10 and 5 mm from the root, and at the T joint has a discontinuity of 50 and 46 mm from below the thicker surface of the material. Each discontinuity has 2 mm in diameter. Checking on the welding area is carried out using 45°, 60°, 70°, and normal probes. The inspection is performed by using ultrasonic wave from the marked sides ie A1, B1, A2, B2 with two discontinuities, C1, D1, C2, D2 with one discontinuity, and E1, E2, F1, F2 with one discontinuity.

The ultrasonic tests performed show that not all probes can be applied for ultrasonic wave testing, the 45° probe is difficult to apply on all sides of testing of no chamfered and chamfered materials, but for T joint, the use of 45° probes can be applied. Probes 60° and 70° are effective for all types of joints except T joints. Tests performed from the thicker base metal side have better accuracy in determining the location of the discontinuity than the thinner side.

Keywords: Ultrasonic, Inspection, Welding, metal, NDT, carbon steel, chamfered material

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	2
I.4. Tujuan.....	2
I.5. Manfaat.....	2
I.6. Hipotesis.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Gambaran Umum Gelombang Ultrasonik	5
II.2. Prinsip-Prinsip Dasar Pengujian Ultrasonik	5
II.3. Mode Perambatan Gelombang Ultrasonik.....	8
II.3.1. Gelombang <i>Longitudinal</i> (Kompresi)	8
II.3.2. Gelombang Geser (transversal)	8
II.3.3. Gelombang Permukaan/ <i>Rayleigh</i>	9
II.3.4. Gelombang Pelat/ <i>Lambs</i>	10
II.4. Peralatan Pengujian Ultrasonik (<i>Ultrasonic Testing</i>)	11
II.4.1. <i>Probe/ Transducer</i>	11
II.4.2. <i>Unit Display</i>	16
II.4.3. Kuplan	18
II.5. Pengujian Kontak Ultrasonik.....	18
II.5.1. Through Transmission.....	21
II.5.2. Pulse Echo	22
II.6. Kalibrasi Alat	23
II.7. Standard pengujian ultrasonik.....	27
II.7.1. <i>UT Equipment Requirement</i>	27
II.7.2. Kalibrasi Instrumen Pengujian	28

II.7.3. Probe Normal.....	28
II.7.4. Probe Sudut.....	28
II.7.5. Tipe Blok IIW.....	28
II.7.6. Standar IIW.....	29
II.7.7. Kalibrasi Jarak Probe Normal.....	30
II.7.8. Sensitivitas Probe Normal	30
II.7.9. Kalibrasi Jarak Probe Sudut	30
II.7.10. Kuplan	30
II.7.11. Scanning	30
II.7.12. Sambungan Tumpul (Butt Joint)	33
II.8. Kelebihan dan Kekurangan Pengujian ultrasonik	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
III.1. Pengadaan material	37
III.2. Pembuatan Spesimen Uji.....	38
III.3. Perataan permukaan, pembuatan diskontinuitas, dan pelapisan permukaan	45
III.4. Pembuatan <i>artificial defect</i> (cacat buatan)	47
III.5. Persiapan pengujian	56
III.6. Pengujian Ultrasonik	62
III.7. Penamaan Sisi <i>Scan Plan</i>	65
III.8. Diagram Alir.....	72
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	74
IV.1. Hasil <i>Scanning</i> Sisi A1 dan B1 Pada Material Tanpa <i>Chamfer</i>	75
IV.2. Hasil <i>Scanning</i> Sisi A2 dan B2 Pada Material Tanpa <i>Chamfer</i>	86
IV.3. Hasil <i>Scanning</i> Sisi C1 dan D1 Pada <i>Chamfered Material</i>	94
IV.4. Hasil <i>Scanning</i> Sisi C2 dan D2 Pada <i>Chamfered Material</i>	101
IV.5. Pengelasan T Joint.....	109
IV.6. Hasil <i>Scanning</i> Sisi E1 Pada material <i>T Joint</i>	110
IV.7. Hasil <i>Scanning</i> Sisi F1 Pada Material <i>T Joint</i>	115
IV.8. Hasil <i>Scanning</i> Sisi E2 Pada Material <i>T Joint</i>	120
IV.9. Hasil <i>Scanning</i> Sisi F2 Pada Material <i>T Joint</i>	127
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	135
V.1 Kesimpulan	135
V.2. Saran	137
DAFTAR PUSTAKA	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Bola karet.....	6
Gambar II.2. Perambatan gerak pada tiap-tiap bola.....	6
Gambar II.3. Diskontinuitas terjadi akibat pelemahan energi yang diterima <i>receiver</i>	7
Gambar II.4. Diskontinuitas terjadi akibat pantulan energi suara yang diterima <i>receiver</i>	7
Gambar II.5. Arah perambatan gelombang longitudinal.....	8
Gambar II.6. Arah perambatan gelombang Transversal.....	9
Gambar II.7. Arah Perambatan gelombang permukaan.....	9
Gambar II.8. Gelombang Permukaan mengikuti kontur.....	10
Gambar II.9. Gerakan partikel dan arah perambatan gelombang pelat/ <i>lamps</i>	10
Gambar II.10. Hollow Extrusion.....	11
Gambar II.11. <i>Probe</i> normal.....	11
Gambar II.12. Pergerakan dan perambatan dari <i>probe</i> normal.....	12
Gambar II.13. <i>Single transducer</i>	12
Gambar II.14. <i>Probe</i> sudut.....	13
Gambar II.15. Gelombang transversal.....	13
Gambar II.16. <i>Transducer</i> sudut.....	13
Gambar II.17. Lokasi cacat di dalam logam yang ditampilkan <i>unit display</i> berdasarkan kedalaman dan jarak <i>probe</i> sudut.....	15
Gambar II.18. <i>Unit display</i>	16
Gambar II.19. Blok diagram digital.....	17
Gambar II.20. Kuplan untuk mencegah adanya rongga udara.....	18
Gambar II.21. Pengujian kontak UT.....	19
Gambar II.22. Inisial pulsa pada pantulan pertama.....	19
Gambar II.23. Diskontinuitas dalam logam las pengujian kontak.....	20
Gambar II.24. Diagram skematis pendeteksian <i>slag</i> dalam baja menggunakan <i>probe</i> normal.....	20
Gambar II.25. Diagram skematis menggunakan <i>probe</i> sudut untuk mendeteksi cacat tidak langsung dibawah <i>probe</i>	20
Gambar II.26. Through Transmission Technique.....	21
Gambar II.27. Range kalibrasi 0-100mm.....	23
Gambar II.28. Pantulan sinyal <i>probe</i> normal.....	24
Gambar II.29. <i>American Variation of International Institute of Welding</i> blok referensi ultrasonik AWS D1.1, tersedia dalam 7570-T65 <i>anodized aluminium</i> , 4340 <i>nickel plate steel</i> dan <i>titanium alloy</i>	24
Gambar II.30. Dimensi Blok IIW.....	25
Gambar II.31. Menentukan letak <i>exit point</i> pada <i>probe</i>	25
Gambar II.32. Verifikasi <i>probe</i> sudut.....	26
Gambar II.33. Ukuran Blok sudut miniatur V2.....	26
Gambar II.34. Acuan kalibrasi sudut V2.....	27
Gambar II.35. Prosedur kualifikasi dari <i>probe</i> menggunakan blok referensi IIW.....	29
Gambar II.36. <i>Typically IIW Type Block</i>	29
Gambar II.37. Pola pengujian UT.....	33
Gambar III.1. Lembaran pelat yang belum dipotong sesuai ukuran.....	37
Gambar III.2. Proses pemotongan material uji.....	38
Gambar III.3. Material yang sudah dipotong.....	39

Gambar III.4. Pembentukan sudut material (<i>chamfered</i>) dengan <i>plasma cutting</i>	39
Gambar III.5. (a) Material uji T join yang telah di lakukan pembentukan sudut untuk dilas. (b) Material <i>butt join</i> yang telah dilakukan pembentukan sudut untuk dilas.	40
Gambar III.6. Mesin las SMAW.	40
Gambar III.7. Arus yang digunakan untuk pengelasan <i>capping</i>	41
Gambar III.8. Elektroda E7016.	41
Gambar III.9. <i>Portable oven</i> untuk menjaga suhu elektroda $\pm 100^{\circ}\text{C}$	42
Gambar III.10. Pemasangan <i>stopper</i>	42
Gambar III.11. Proses pengelasan.	43
Gambar III.12. Material yang telah selesai dilas.	43
Gambar III.13. Pelepasa <i>stopper</i> menggunakan gerinda.	44
Gambar III.14. Pemotongan material dengan gergaji mesin.	44
Gambar III.15. Material yang sudah di potong dengan gergaji mesin.	45
Gambar III.16. Perataan sisi material dengan mesin sekrup (<i>shaping machine</i>).	45
Gambar III.17. Material yang sudah diratakan dengan mesin sekrup (<i>shaping machine</i>).	46
Gambar III.18. Material dirapikan menggunakan gerinda.	46
Gambar III.19. Salah satu material yang sudah diratakan.	47
Gambar III.20. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 4 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	48
Gambar III.21. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 8 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	48
Gambar III.22. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	48
Gambar III.23. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 15 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	49
Gambar III.24. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	49
Gambar III. 25. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 15 mm dari <i>base</i> yang lebih tebal.	49
Gambar III.26. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	50
Gambar III.27. Rancangan <i>test piece</i> dengan kedalaman diskontinuitas 6 mm dari <i>base metal</i> yang lebih tebal.	50
Gambar III.28. <i>Macroetch</i> sebelum menentukan lokasi diskontinuitas.	51
Gambar III.29. Penentuan lokasi diskontinuitas.	51
Gambar III.30. Lokasi yang akan dibor.	51
Gambar III.31. Pemberian tinta spidol di daerah yang akan dibor.....	52
Gambar III.32. Mesin bor yang digunakan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan ITS.....	52
Gambar III.33. Diskontinuitas dengan jarak 16 mm dari bawah material.	53
Gambar III.34. Diskontinuitas dengan jarak 12 mm dari bawah material.	53
Gambar III.35. Diskontinuitas dengan jarak 10 mm dari bawah material.	53
Gambar III.36. Diskontinuitas dengan jarak 5 mm dari bawah material.	54
Gambar III.37. Diskontinuitas dengan jarak 10 mm dari bawah material (<i>chamfered material</i>).	54
Gambar III.38. Diskontinuitas dengan jarak 5 mm dari bawah material (<i>chamfered material</i>).	54
Gambar III.39. Diskontinuitas dengan jarak 50 mm dari bawah material (<i>t joint</i>).	55
Gambar III.40. Diskontinuitas dengan jarak 46mm dari bawah material (<i>t joint</i>).	55
Gambar III.41. Cat transparan (<i>clear</i>) yang digunakan untuk pelapisan material.	55
Gambar III.42. Blok kalibrasi V1.....	56
Gambar III.43. Blok kalibrasi V2.....	56
Gambar III.44. Serial number pada layar.	57

Gambar III.45. Serial number pada unit display.	57
Gambar III.46. Penampakan fisik unit display SIUI CTS-9005.	58
Gambar III.47. Adaptor.	58
Gambar III.48. Kabel <i>coaxial</i>	59
Gambar III.49. Probe Normal.	59
Gambar III.50. Probe sudut 45°.	60
Gambar III.51. Probe sudut 60°.	60
Gambar III.52. Probe sudut 70°.	60
Gambar III.53. Kuplan.	61
Gambar III.54. Penggaris.	61
Gambar III.55. Kalibrasi probe normal.	62
Gambar III.56. Kalibrasi probe sudut 45°.	62
Gambar III.57. Kalibrasi probe sudut 60°.	62
Gambar III.58. Kalibrasi Probe sudut 70°.	63
Gambar III.59. Leg1 dan leg2 ditandai dengan tinta spidol (<i>chamfered material</i>).	63
Gambar III.60. Leg1 dan leg2 ditandai dengan tinta spidol (<i>chamfered material</i>).	63
Gambar III.61. Pembuatan leg 1 dan leg 2 tampak atas (material yang lebih tebal).	64
Gambar III.62. Pembuatan leg 1 dan leg 2 menggunakan tinta spidol material tanpa <i>chamfer</i>	64
Gambar III.63. Pembuatan leg 1 dan leg 2 tampak atas material tanpa <i>chamfer</i>	64
Gambar III.64. Sketsa <i>scanning</i> sisi A1 dan B1.	65
Gambar III.65. Sisi <i>scanning</i> A1 dan B1 pada material.	65
Gambar III.66. Sketsa <i>scanning</i> sisi A2 dan B2.	66
Gambar III.67. Sisi <i>scanning</i> A2 dan B2 pada material.	66
Gambar III.68. Sketsa <i>scanning</i> sisi C1 dan D1.	66
Gambar III.69. Sisi <i>scanning</i> C1 dan D1 pada material.	67
Gambar III.70. Sketsa <i>scanning</i> sisi C2 dan D2.	67
Gambar III.71. Sisi <i>scanning</i> C2 dan D2 pada material.	67
Gambar III.72. Sketsa <i>scanning</i> sisi E1 material 3.	68
Gambar III.73. Sisi <i>scanning</i> E1 material 3.	68
Gambar III.74. Sketsa <i>scanning</i> sisi F1 material 3.	69
Gambar III.75. Sisi <i>scanning</i> F1 material 3.	69
Gambar III.76. Sketsa <i>scanning</i> sisi E2 material 3.	70
Gambar III.77. Sisi <i>scanning</i> E2 material 3.	70
Gambar III.78. Sketsa <i>scanning</i> sisi F2 material 3.	71
Gambar III.79. Sisi <i>scanning</i> F2 material 3.	71
Gambar IV.1. Probe sudut 45° tidak dapat menjangkau leg 1.	75
Gambar IV.2. <i>Scanning</i> pada leg 2.	75
Gambar IV.3. Indikasi (1) yang terdeteksi ketika <i>probe</i> 45° diletakkan pada leg 2.	76
Gambar IV.4. Indikasi (2) yang terdeteksi ketika <i>probe</i> 45° diletakkan pada leg 2.	76
Gambar IV.5. Diskontinuitas yang terbaca 2.7 mm seharusnya -4 mm.	77
Gambar IV.6. <i>Thickness</i> ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 26.7 mm.	77
Gambar IV.7. Diskontinuitas yang terbaca yaitu 2.6 mm yang seharusnya 0 mm.	77
Gambar IV.8. <i>Thickness</i> ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 21.4 mm.	78
Gambar IV.9. Diskontinuitas yang terbaca 11.7 mm, seharusnya 0 mm.	78
Gambar IV.10. <i>Thickness</i> ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 12.3 mm.	79
Gambar IV.11. Diskontinuitas yang terbaca 1.8 mm, seharusnya -4 mm.	79
Gambar IV.12. <i>Thickness</i> ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 25.8 mm.	79
Gambar IV.13. Indikasi yang ikut terdeteksi berasal dari diskontinuitas yang lebih dekat dengan <i>probe</i>	80
Gambar IV.14. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm menggunakan <i>probe</i> 45° dari sisi B1.	80

Gambar IV.15. <i>Probe</i> 45° yang tidak mencapai leg 1.....	81
Gambar IV.16. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm menggunakan <i>probe</i> 70° dari sisi B1.	81
Gambar IV.17. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari <i>toe</i>	82
Gambar IV.18. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm menggunakan <i>probe</i> 70° sisi B1.	82
Gambar IV.19. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari <i>capping</i>	82
Gambar IV.20. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari <i>capping</i>	83
Gambar IV.21. Indikasi yang ikut terbaca pada <i>toe</i>	83
Gambar IV.22. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm menggunakan <i>probe</i> 70° dari sisi B1.	84
Gambar IV.23. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm <i>probe</i> 70° dari sisi B1.....	84
Gambar IV.24. Pengujian dari sisi A1 dan B1.	85
Gambar IV.25. <i>Probe</i> sudut 45° tidak dapat menjangkau leg 1.....	86
Gambar IV.26. Posisi <i>scanning</i> pada <i>probe</i> 45° leg 2.....	86
Gambar IV.27. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm terbaca 5 mm.....	87
Gambar IV.28. Diskontinuitas 7 mm yang terbaca 18.9 mm karena penambahan ketebalan.	87
Gambar IV.29. Diskontinuitas dengan kedalaman 2 mm yang terdeteksi.	87
Gambar IV.30. <i>Thickness</i> yang jika ditambahkan sampai berapapun nilainya tetap 22.8 mm.....	88
Gambar IV.31. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm yang terdeteksi.	88
Gambar IV.32. Diskontinuitas 7 mm yang terbaca 17.4 mm karena penambahan ketebalan.	89
Gambar IV.33. Diskontinuitas dengan kedalaman 2 mm yang terdeteksi.	89
Gambar IV.34. Diskontinuitas dengan kedalaman 9 mm.	90
Gambar IV.35. Indikasi pada leg 2 yang ikut terbaca menggunakan <i>probe</i> 45°.....	90
Gambar IV.36. Leg 1 yang tidak terjangkau <i>probe</i> sudut 45°.....	90
Gambar IV.37. Diskontinuitas dengan kedalaman 9.....	91
Gambar IV.38. Indikasi pada <i>capping</i> yang ikut terdeteksi menggunakan <i>probe</i> 60°.....	91
Gambar IV.39. Diskontinuitas dengan kedalaman 14 mm.	92
Gambar IV.40. Diskontinuitas dengan kedalaman 14 mm yang terbaca.	92
Gambar IV.41. Diskontinuitas dengan kedalaman 9 mm yang terbaca.	92
Gambar IV.42. Pengujian dari sisi A2 dan B2.....	93
Gambar IV.43. Leg 1 tidak terjangkau pada <i>chamfered material probe</i> 45° dari sisi C1.	94
Gambar IV.44. Diskontinuitas pada <i>chamfered material probe</i> 45° dari sisi C1.....	94
Gambar IV.45. Sepatu <i>probe</i> terangkat pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi C1.....	95
Gambar IV.46. Diskontinuitas di <i>chamfered material</i> menggunakan <i>probe</i> 60° dari sisi C1.....	95
Gambar IV.47. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 1 di <i>chamfered material</i> dari sisi C1.	96
Gambar IV.48. Diskontinuitas pada <i>chamfered material probe</i> 70° dari sisi C1.....	96
Gambar IV.49. Indikasi pada leg 2 di <i>chamfered material</i> dari sisi C1.....	96
Gambar IV.50. Posisi <i>probe</i> 45° tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian.	97
Gambar IV.51. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 di <i>chamfered material</i> dari sisi D1.	97
Gambar IV.52. Indikasi leg 1 pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi D1.....	98
Gambar IV.53. Diskontinuitas 14 mm pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi D1.	98
Gambar IV.54. Indikasi leg 2 pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi D1.....	98
Gambar IV.55. Indikasi leg 1 pada <i>chamfered material probe</i> 70° dari sisi D1.....	99
Gambar IV.56. Diskontinuitas 14 mm pada <i>chamfered material probe</i> 70° dari sisi D1.	99
Gambar IV.57. Indikasi pada leg 2 <i>chamfered material probe</i> 70° dari sisi D1.....	99
Gambar IV.58. Pengujian dari sisi C1 dan D1.	100
Gambar IV.59. <i>Probe</i> sudut 45° yang tidak dapat menjangkau leg 1.....	101
Gambar IV.60. Indikasi pada leg 2 di <i>chamfered material</i> menggunakan <i>probe</i> 45° sisi C2.....	101
Gambar IV.61. Indikasi yang ikut berasal dari <i>capping</i>	101
Gambar IV.62. <i>Wedges</i> / sepatu <i>probe</i> terangkat.....	102
Gambar IV.63. Diskontinuitas 2 mm pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi C2.	102
Gambar IV.64. Indikasi leg 2 pada <i>chamfered material probe</i> 60° dari sisi C2.	102

Gambar IV.65. Indikasi pada leg 2 pada <i>chamfered material</i> memakai <i>probe</i> 70° dari sisi C2.	103
Gambar IV.66. Diskontinuitas 2 mm di <i>chamfered material</i> memakai <i>probe</i> 70° dari sisi C2.	103
Gambar IV.67. Indikasi pada leg 2 di <i>chamfered material</i> menggunakan <i>probe</i> 70° sisi C2.	104
Gambar IV.68. Posisi <i>probe</i> miring tidak memungkinkan untuk dilakukan pemeriksaan leg 1.	104
Gambar IV.69. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 di <i>chamfered material</i> dari sisi D2.	105
Gambar IV.70. Indikasi pada <i>chamfered material</i> leg 1 <i>probe</i> 60° dari sisi D2.	105
Gambar IV.71. Diskontinuitas 9 mm pada <i>chamfered material</i> <i>probe</i> 60° dari sisi D2.	106
Gambar IV.72. Indikasi leg 2 pada <i>chamfered material</i> <i>probe</i> 60° dari sisi D2.	106
Gambar IV.73. Indikasi pada leg 1 <i>chamfered material</i> <i>probe</i> 70° dari sisi D2.	106
Gambar IV.74. Diskontinuitas 9 mm pada <i>chamfered material</i> <i>probe</i> 70° dari sisi D2.	107
Gambar IV.75. Indikasi leg 2 pada <i>chamfered material</i> <i>probe</i> 70° dari sisi D2.	107
Gambar IV.76. Pengujian dari sisi C2 dan D2.	108
Gambar IV.77. Diskontinuitas dengan kedalaman 50 mm menggunakan <i>probe</i> normal.	109
Gambar IV.78. Diskontinuitas dengan kedalaman 46mm menggunakan <i>probe</i> normal.	109
Gambar IV.79. <i>Wedges</i> / sepatu <i>probe</i> 45° tidak dapat mencapai leg 2.	110
Gambar IV.80. <i>Scanning</i> pada leg 1 <i>probe</i> 60° <i>wedges</i> tidak dapat mencapai leg 1.	110
Gambar IV.81. <i>Scanning</i> antara leg 1 dan leg 2 tidak dapat mencapai diskontinuitas.	111
Gambar IV.82. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 1 di material 3 dari sisi E1.	111
Gambar IV.83. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 2 di material 2 dari sisi E1.	111
Gambar IV.84. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 1.	112
Gambar IV.85. Diskontinuitas yang terbaca akurat (48 mm), tetapi kedalaman tidak akurat.	112
Gambar IV.86. Diskontinuitas tetap terbaca 48 mm walaupun ketebalan sudah ditambah.	113
Gambar IV.87. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 di material 3 dari sisi E1.	113
Gambar IV.88. Pengujian dari sisi E1.	114
Gambar IV.89. <i>Probe</i> 45° tidak dapat mencapai leg 2.	115
Gambar IV.90. <i>Probe</i> 60° tidak dapat mencapai leg 1 dari sisi F1.	115
Gambar IV.91. Posisi <i>probe</i> 60° pada leg 2 di material 3 dari sisi F1.	116
Gambar IV.92. Posisi <i>scanning</i> leg 1 menggunakan <i>probe</i> 70°.	116
Gambar IV.93. Posisi <i>scanning</i> leg 2 menggunakan <i>probe</i> 70°.	117
Gambar IV.94. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 1 dengan t = 45 mm.	117
Gambar IV.95. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 dengan t = 45 mm.	118
Gambar IV.96. Jarak diskontinuitas yang terdeteksi valid, tetapi kedalaman tidak valid.	118
Gambar IV.97. Pengujian dari sisi F1.	119
Gambar IV.98. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 1 di material 3 dari sisi E2.	120
Gambar IV.99. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 di material 3 dari sisi E2.	120
Gambar IV.100. Jarak yang akurat tetapi kedalaman diskontinuitas yang tidak valid.	121
Gambar IV.101. Kedalaman dan jarak menjadi valid setelah <i>thickness</i> material ditambahkan.	121
Gambar IV.102. Posisi <i>probe</i> 60° pada leg 1 di material 3 dari sisi E2.	122
Gambar IV.103. Posisi <i>probe</i> 60° pada leg 2 di material 3 dari sisi E2.	122
Gambar IV.104. Jarak valid, tetapi kedalaman tidak valid.	122
Gambar IV.105. Kedalaman dan jarak menjadi valid setelah <i>thickness</i> material ditambahkan.	123
Gambar IV.106. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 1 di material 3 dari sisi E2.	123
Gambar IV.107. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 2.	124
Gambar IV.108. Jarak diskontinuitas yang akurat tetapi kedalaman diskontinuitas tidak akurat.	124
Gambar IV.109. Setelah kedalaman ditambahkan, kedalaman yang ditampilkan menjadi akurat.	124
Gambar IV.110. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 1 dengan memasukkan t = 45 mm.	125
Gambar IV.111. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 dengan memasukkan t = 45 mm.	125

Gambar IV.112. Sisi pengujian dari sisi E2 dan sketsa xx.....	126
Gambar IV.113. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 1 dari sisi F2.	127
Gambar IV.114. Posisi <i>probe</i> 45° pada leg 2 dari sisi F2.....	127
Gambar IV.115. Diskontinuitas dengan jarak yang valid, tetapi kedalaman tidak valid.	128
Gambar IV.116. Setelah ketebalan ditambahkan, kedalaman yang ditampilkan menjadi valid.	128
Gambar IV.117. Posisi <i>probe</i> 60° pada leg 1 dari sisi F2.	129
Gambar IV.118. Posisi <i>probe</i> 60° pada leg 2 dari sisi F2.....	129
Gambar IV.119. Jarak diskontinuitas yang terbaca valid, tetapi kedalaman tidak valid.	129
Gambar IV.120. Setelah ketebalan ditambahkan , kedalaman menjadi valid.....	130
Gambar IV.121. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 1 dari sisi F2.	130
Gambar IV.122. Posisi <i>probe</i> 70° pada leg 2 dari sisi F2.	131
Gambar IV.123. Jarak diskontinuitas yang terbaca valid, tetapi kedalaman tidak.	131
Gambar IV.124. Setelah <i>thickness</i> material ditambahkan kedalaman menjadi valid.	131
Gambar IV.125. Posisi leg 1 pada ketebalan material $t = 45$ mm, tidak terdapat indikasi.	132
Gambar IV.126. Posisi leg 2 pada ketebalan material $t = 45$ mm, tidak terdapat indikasi.	132
Gambar IV.127. Sisi pengujian dari sisi E2 dan sketsa xx.....	133

DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Material kristal dan karakteristiknya.	15
Tabel II.2. Sudut pengujian.	31
Tabel II.3. Sudut pengujian (lanjutan).....	32
Tabel II.4. Kriteria penerimaan dan penolakan pengujian UT pada beban statis dan berulang dalam sambungan kompresi nontubular.....	34
Tabel IV.1. Hasil <i>scanning</i> dari sisi A1 dan B1 untuk kedalaman diskontinuitas 12 mm.....	85
Tabel IV.2. Hasil <i>scanning</i> dari sisi A1 dan B1 untuk kedalaman diskontinuitas 16 mm.....	85
Tabel IV.3. Hasil <i>scanning</i> dari sisi A2 dan B2 untuk kedalaman diskontinuitas 5 mm.....	93
Tabel IV.4. Hasil <i>scanning</i> dari sisi A2 dan B2 untuk kedalaman diskontinuitas 10 mm.....	93
Tabel IV.5. Hasil <i>scanning</i> dari sisi C1 dan D1 untuk kedalaman diskontinuitas 5 mm.....	100
Tabel IV.6. Hasil <i>scanning</i> dari sisi C2 dan D2 untuk kedalaman diskontinuitas 10 mm.....	108
Tabel IV.7. Hasil pengujian dari sisi E1 <i>T joint</i> dengan $t = 20$ mm.....	114
Tabel IV.8. Hasil pengujian dari sisi E1 <i>T joint</i> dengan $t = 45$ mm.....	114
Tabel IV.9. Hasil pengujian dari sisi F1 material <i>T joint</i> dengan $t = 20$ mm.....	119
Tabel IV.10. Hasil pengujian dari sisi F1 material <i>T joint</i> dengan $t = 45$ mm.....	119
Tabel IV.11. Pengujian dari sisi E2 dengan $t = 20$ mm.	126
Tabel IV.12. Pengujian dari sisi E2 dengan $t = xx$ mm.	126
Tabel IV.13. Hasil pengujian dari sisi E2 <i>T joint</i> dengan $t = \infty$	126
Tabel IV.14. Pengujian dari sisi F2 <i>T joint</i> dengan $t = 20$ mm.	133
Tabel IV.15. Pengujian dari sisi F2 <i>T joint</i> dengan $t = xx$ mm.	133
Tabel IV.16. Pengujian dari sisi F2 <i>T joint</i> dengan $t = \infty$ mm.	133

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Dalam suatu pembangunan kapal penggabungan material umumnya sekarang dilakukan dengan pengelasan. Pengelasan yang dilakukan dengan macam-macam jenisnya seperti SMAW, FCAW, GTAW, dan lain-lain. Pengelasan-pengelasan yang terjadi dalam pembangunan sebuah kapal baik di geladak, lambung, dan ruangan-ruangan harus mempunyai standar khusus agar tidak terjadi kegagalan yang dapat mengakibatkan kerugian. Hingga saat ini banyak sekali metode dan cara-cara untuk mengecek suatu sambungan las-lasan yang ada di lapangan, salah satunya ialah metode *ultrasonic testing*.

Sampai saat ini sering terjadi kegagalan pada sebuah konstruksi di dalam pembangunan suatu kapal. Hal tersebut tentu memiliki banyak faktor, salah satunya yang sering terjadi ialah terjadi cacat pengelasan yang tidak diatasi. Cacat pengelasan tentu sangat merugikan baik cepat atau pun lambat. Hal ini dapat terjadi karena keadaan dilapangan yang keras, situasi sulit untuk dilakukan inspeksi, longgarnya peraturan QC, kesalahan penginspeksi, cara melakukan yang tidak sesuai prosedur, sampai orang yang tidak memiliki kompetensi justru melakukan kegiatan inspeksi pengelasan. Cara-cara penginspeksian yang tidak optimal mengakibatkan beberapa cacat (diskontinuitas) tidak dapat diketahui dengan baik. Terutama pada kamar mesin yaitu merupakan tempat yang sering mengalami getaran berulang, hal ini berakibat pada rusaknya konstruksi kamar mesin. Kenyataanya kamar mesin memiliki suhu yang relatif panas, ventilasi yang sedikit, serta banyak pelumas yang berceceran. Inspeksi dengan metode yang baik akan menghasilkan ketepatan pendeteksian cacat las dengan waktu yang relatif singkat.

Kegagalan konstruksi dan kesalahan cara inspeksi dapat diantisipasi dengan melakukan sebuah penelitian tentang penggunaan *ultrasonic testing* untuk pengecekan las-lasan pondasi kamar mesin yang berbedaan ketebalan. Prinsip dari pengujian ini adalah mengecek hasil las-lasan dengan sistem UT sehingga diketahui kedalaman dan jarak diskontinuitas dalam logam las serta untuk merencanakan cara yang paling optimal untuk pengecekan logam las pada material yang memiliki logam induk berbeda ketebalan.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kedalaman dan jarak diskontinuitas las-lasan yang yang *base metalnya* memiliki ketebalan berbeda dapat dideteksi dengan UT probe sudut 45° , 60° , dan 70° ?
2. Bagaimana caranya untuk mendapatkan hasil *scanning* yang paling efektif dalam pendeteksian diskontinuitas di dalam suatu logam las yang *base metalnya* memiliki ketebalan berbeda?

I.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada judul ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah baja karbon A36.
2. Frekuensi probe yang digunakan ialah 1-6 Mhz.
3. Diskontinuitas yang dibuat berdiameter 2 mm.
4. Ukuran *test piece* yaitu 150 X 240 X 12 mm sebanyak 2 buah, 150 X 240 X 20 mm sebanyak 2 buah, 200 X 100 X 40mm sebanyak 1 buah, dan 150 X 100 X 12 mm sebanyak 1 buah.
5. Teknik UT menggunakan kontak tes.

I.4. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis kedalaman dan jarak diskontinuitas yang akurat pada sambungan las-lasan yang yang *base metalnya* memiliki ketebalan berbeda menggunakan probe sudut 45° , 60° , dan 70° .
2. Untuk mengetahui inspeksi (*scan plan*) yang paling optimal pada daerah las-lasan yang *base metalnya* memiliki ketebalan berbeda.

I.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

Memberikan pengetahuan *scanning plan* dan cara yang paling optimal pada inspeksi daerah las-lasan yang *base metalnya* memiliki ketebalan berbeda .

I.6. Hipotesis

Dugaan awal dari tugas akhir ini adalah efektifitas pendeteksian dengan scanning dari daerah base metal yang lebih tebal akan menghasilkan keakuratan yang lebih tinggi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Gambaran Umum Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah suara atau getaran dengan frekuensi yang terlalu tinggi untuk didengar manusia, yaitu diatas 20 KHz. Hanya beberapa hewan seperti lumba-lumba menggunakan gelombang tersebut untuk berkomunikasi, sedangkan kelelawar menggunakan gelombang ultrasonik untuk navigasi. Dalam hal ini, gelombang ultrasonik merupakan gelombang ultra (didas) frekuensi gelombang *sonic* (suara). Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas. Reflektifitas dari gelombang ultrasonik ini dipermukaan cairan hampir sama dengan permukaan padat, tetapi pada tekstil dan busa jenis gelombang ini akan diserap. Frekuensi yang diasosiasikan dengan gelombang ultrasonik pada aplikasi elektronik dihasilkan oleh getaran elastis dari sebuah kristal kuarsa yang diinduksikan oleh resonansi dengan suatu medan listrik bolak-balik yang diberikan (efek piezoelektrik). Kadang gelombang ultrasonik menjadi tidak periodik yang disebut noise, dimana dapat dinyatakan sebagai superposisi gelombang-gelombang periodik, tetapi banyaknya komponen adalah sangat besar. Kelebihan gelombang ultrasonik adalah bersifat langsung dan mudah difokuskan serta dengan memanfaatkan delay gelombang pantul dan gelombang datang akan dapat menentukan jarak pada sistem radar dan deteksi gerakan oleh sensor pada robot atau hewan (Similie, 1995).

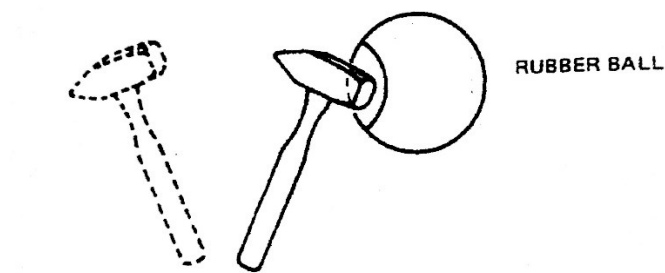
II.2. Prinsip-Prinsip Dasar Pengujian Ultrasonik

Pada dasarnya pengujian ultrasonik adalah pengujian *Non Destructive Test* (NDT) atau pengujian yang tidak merusak dengan cara memasukkan gelombang suara berfrekuensi tinggi pada suatu material, untuk mendeteksi flaw atau diskontinuitas pada permukaan atau dibawah permukaan material tersebut. Gelombang suara yang berjalan pada material mengalami kehilangan energi atau atenuasi dan pemantulan pada beberapa tempat. Pantulan gelombang inilah yang akan ditampilkan dan dianalisa untuk menentukan keberadaan dan lokasi dari flaw atau diskontinuitas (Hellier, 1997).

Dalam pengujian ultrasonik, kita menggunakan sesuatu yang dinamakan “getaran ultrasonik”. Kita harus mengetahui dua fakta mengenai getaran :

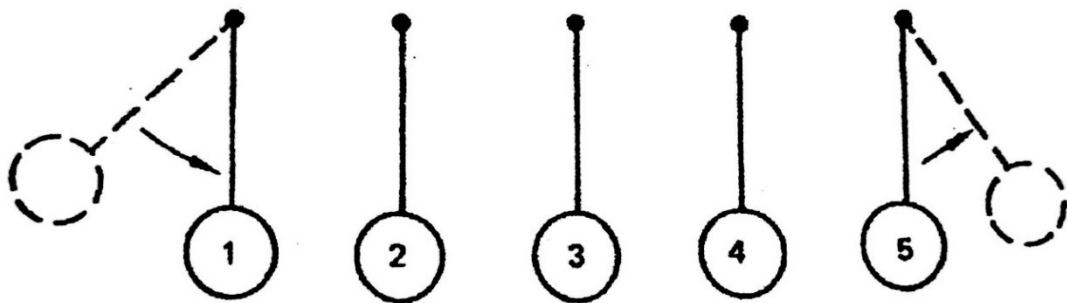
1. Getaran adalah gerakan maju-mundur.
2. Getaran adalah energi yang bergerak.

Penekanan pada sebuah permukaan dari posisi normalnya dinamakan perpindahan seperti pada Gambar II.1.



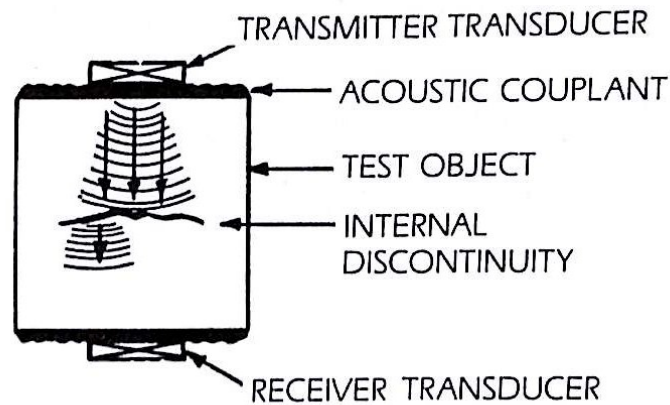
Gambar II.1. Bola karet.
Sumber : Putra, 2013

Getaran merambat di dalam benda padat sebagai sebuah perpindahan partikel yang saling berurutan. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar II.2) :

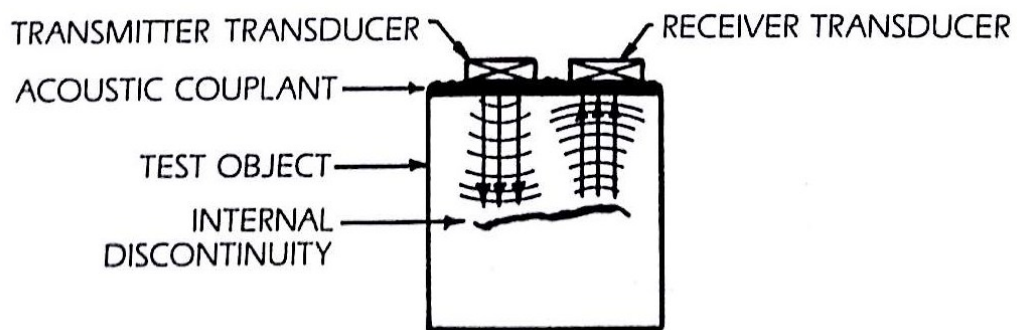


Gambar II.2. Perambatan gerak pada tiap-tiap bola.
Sumber : Putra, 2013

Jika kita memindahkan partikel satu ke kiri dan melepaskannya, energi yang kita berikan pada partikel satu akan dirambatkan melalui partikel dua hingga empat dan akhirnya memengaruhi partikel lima. Partikel lima selanjutnya akan membalik gerakannya dan meneruskan energinya melalui barisan partikel kembali pada partikel satu. Getaran merambat dari partikel ke partikel lainnya yang akhirnya dapat menimbulkan suara tergantung dari frekuensi yang dihasilkan (Putra, 2013).



Gambar II.3. Diskontinuitas terjadi akibat pelemahan energi yang diterima *receiver*.
Sumber : Birks & Lclntire, 1991



Gambar II.4. Diskontinuitas terjadi akibat pantulan energi suara yang diterima *receiver*.
Sumber : Birks & Lclntire, 1991

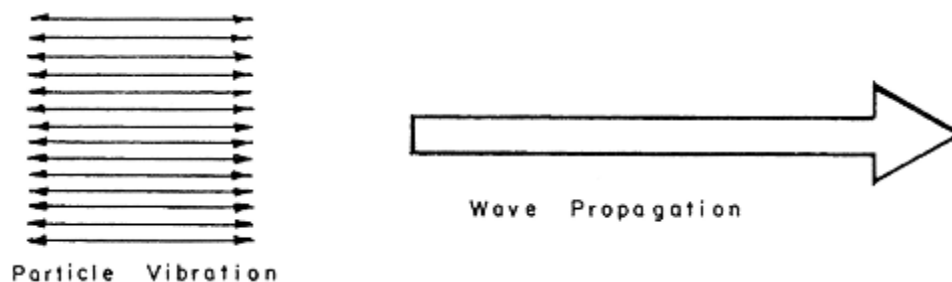
Pengujian ultrasonik menggunakan gelombang elastis dengan frekuensi tinggi untuk inspeksi material-material uji tanpa merusak seperti pada Gambar II.3 dan Gambar II.4. Pengujian ultrasonik biasanya dapat diselesaikan dengan frekuensi antara 1-25 Mhz. Walaupun demikian, terdapat juga frekuensi dibawah 25 kHz dan lebih dari 100 *gigahertz*. Variasi-variasi teknik pengujian ultrasonik selalu berkembang untuk mengirimkan energi suara langsung ke benda uji. Metode frekuensi resonansi yang rendah (dimana seluruh objek pengujian disebabkan dengan getaran pada frekuensi *sonic*) seharusnya tidak membuat bingung dengan metode ultrasonik yang sudut pemeriksaannya biasanya terbatas untuk sebagian kecil dari volume objek (Birks & Lclntire, 1991).

II.3. Mode Perambatan Gelombang Ultrasonik

Mode perambatan gelombang ultrasonik yang paling umum ada empat macam yaitu permbatan secara longitudinal (kompresi), *transversal*(geser), permukaan (*rayleigh*), mode perambatan pelat (*Lamb*) (Mix, 2005).

II.3.1. Gelombang *Longitudinal* (Kompresi)

Pada gelombang longitudinal pada Gambar II.5, arah partikel searah terhadap arah perambatan gelombang. Atom-atom penyusun material dianggap tertata dalam sebuah garis lurus membentuk kisi-kisi ruang. Saat gelombang menabrak sisi kisi ruang, akan terjadi reaksi pergerakan partikel secara berantai sehingga terjadilah gelombang longitudinal (Berke, 1990).

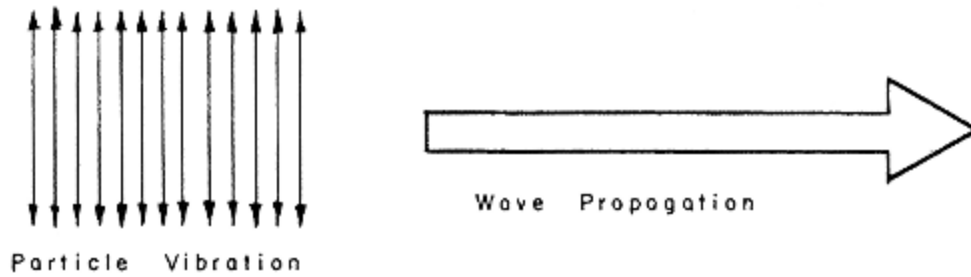


Gambar II.5. Arah perambatan gelombang longitudinal.
Sumber : Mix, 2005

II.3.2. Gelombang Geser (*transversal*)

Gelombang *shear* biasanya digunakan untuk mendeteksi las, tabung, dan pipa. Gelombang *shear* lebih sensitif terhadap cacat dari pada gelombang longitudinal karena panjang gelombang yang lebih pendek, gelombang shear mempunyai kecepatan sekitar separuh dari kecepatan gelombang longitudinal. Namun, pengujian menggunakan gelombang shear dari suatu pelat biasanya sering melewati laminasi yang sejajar dengan permukaan material (Mix, 2005).

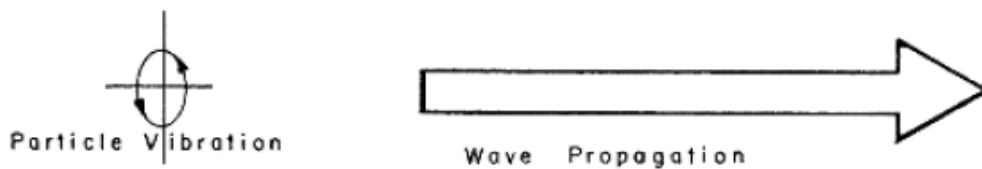
Pada gelombang transversal, arah gerakan partikel tegal lurus terhadap arah perambatan gelombang seperti terlihat pada Gambar II.6. Gelombang transversal tidak dapat merambat pada media air dan gas (Berke, 1990).



Gambar II.6. Arah perambatan gelombang Transversal.
Sumber : Mix, 2005

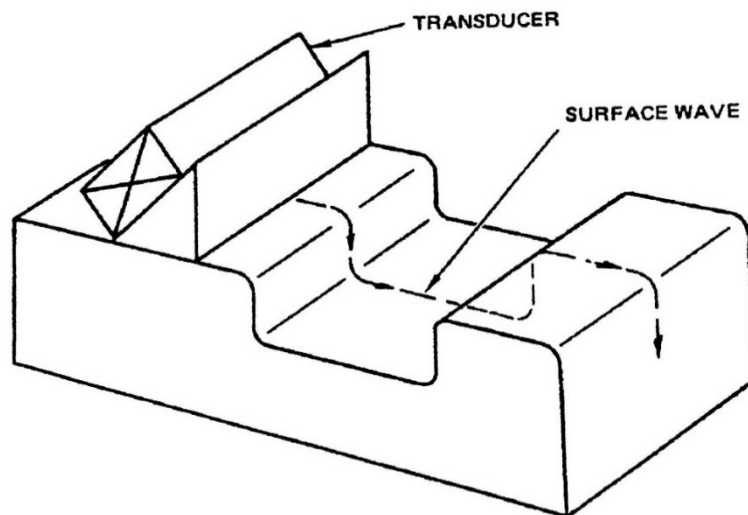
II.3.3. Gelombang Permukaan/*Rayleigh*

Gelombang permukaan merambat sepanjang permukaan material seperti pada Gambar II.7. Kecepatan dari gelombang permukaan kira-kira 0.9 dari kecepatan gelombang shear pada material yang sejenis, partikel permukaan ini merambat baik secara longitudinal maupun transversal. Gelombang permukaan (Rayleigh) banyak dipengaruhi oleh *defect* yang dekat dengan permukaan, oleh karena itu minyak dan kotoran pada permukaan juga dapat melemahkan suara dan menghasilkan pulsa pada layar juga. Kekuatan asli gelombang permukaan akan berkurang sebanyak 0.44 pada kedalaman satu panjang gelombang (Mix, 2005).



Gambar II.7. Arah Perambatan gelombang permukaan.
Sumber : Mix, 2005

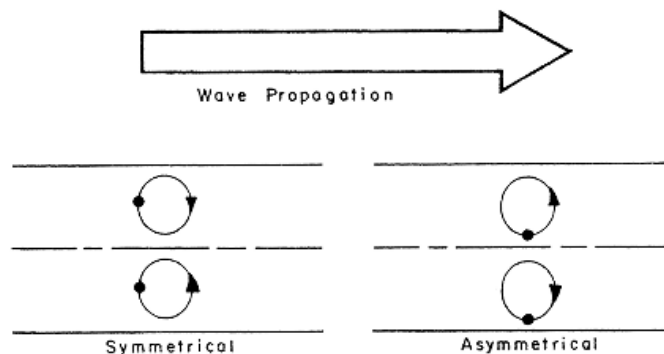
Pergerakan partikel dalam gelombang permukaan ini membentuk lintasan elips. Gelombang permukaan mempunyai karakter khusus yang berguna untuk mendeteksi cacat pada material. Rayleigh mempunyai kemampuan untuk mengikuti kontur permukaan material asalkan perubahan kontur tidak menyolok seperti pada gambar Gambar II.8. Kemampuan ini tidak dimiliki oleh jenis mode lainnya. Gelombang permukaan sangat efektif terhadap cacat permukaan, tetapi kemampuan penetrasinya hanya sekitar satu kali panjang gelombang (Berke, 1990).



Gambar II.8. Gelombang Permukaan mengikuti kontur.
Sumber : Mix, 2005

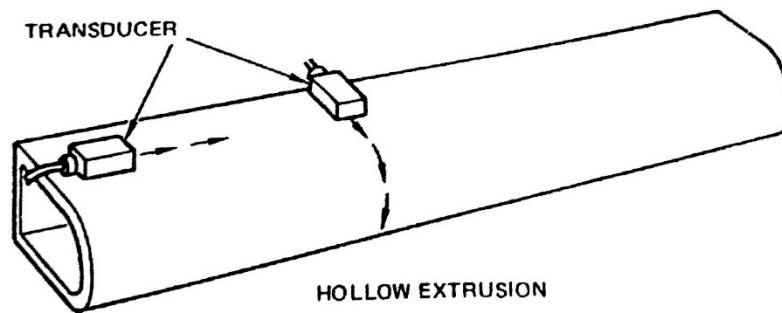
II.3.4. Gelombang Pelat/*Lambs*

Pada Gambar II.9 menunjukkan gerakan partikel dan arah perambatan gelombang pelat. Gelombang pelat/*lambs* digunakan untuk mendeteksi cacat laminasi yang dekat permukaan material tipis. Gelombang ini juga sering digunakan untuk pengujian pengikat laminasi pada material tipis. Kecepatan pada gelombang pelat ini bergantung pada karakteristik material, tebal pelat, dan frekuensi. Gelombang pelat diperoleh ketika sudut datang diatur sehingga kecepatan gelombang longitudinal yang datang sama dengan kecepatan gelombang pelat yang diinginkan. Karena hal ini sulit, jika tidak memungkinkan untuk dihitung secara matematis, beberapa produsen menyarankan bahwa sudut datang dapat divariasi dengan pengujian dalam menghitung gelombang pelat yang optimum untuk menguji material yang akan diuji. Gelombang suara dengan frekuensi yang rendah tidak digunakan pada material yang tipis karena resolusi *near surface* yang buruk (Mix, 2005).



Gambar II.9. Gerakan partikel dan arah perambatan gelombang pelat/*lambs*.
Sumber : Mix, 2005

Gelombang pelat yang dihasilkan oleh gelombang *longitudinal* dapat berbentuk gelombang simetris maupun asimetris. Gelombang pelat memenuhi seluruh ketebalan benda yang diperiksa. Tanpa “memenuhi” benda, gelombang tersebut tidak akan terbentuk. Adalah tidak mungkin untuk menghasilkan gelombang transversal atau gelombang permukaan pada material yang lebih tipis dari 0.5 panjang gelombang. Oleh karenanya gelombang pelat memiliki manfaat seperti pada Gambar II.10 (Putra, 2013).



Gambar II.10. Hollow Extrusion.
Sumber : Putra, 2013

II.4. Peralatan Pengujian Ultrasonik (*Ultrasonic Testing*)

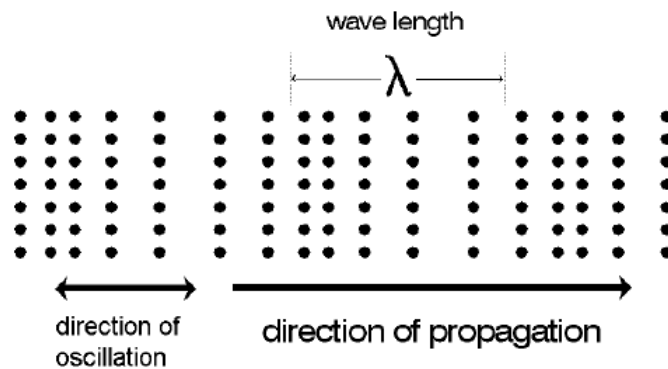
II.4.1. *Probe/ Transducer*

Transducer adalah jantung dari sistem perangkat pengujian ultrasonik. *Probe* dimana sudutnya normal ke permukaan benda ujia disebut *straight beam probes / probe normal probe* normal seperti pada Gambar II.11 dan Gambar II.13 (Berke, 1990).

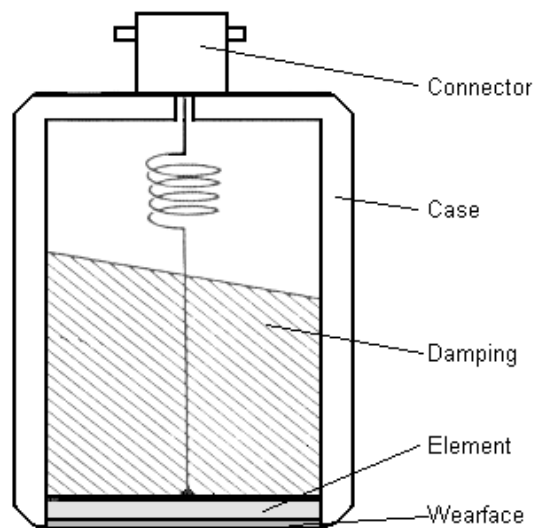


Gambar II.11. *Probe* normal.
Sumber : Berke, 1990

Probe normal pada umumnya mengirimkan dan menerima gelombang longitudinal (*pressure waves*). Pergerakan dari beberapa gelombang dapat dijelaskan sebagai kompresi dan pengurangan dari perambatan atom dalam material (gas, cair, dan padat) seperti pada Gambar II.12. Terdapat banyak pilihan dari *probe* normal dalam bermacam-macam ukuran dan macam-macam frekuensi dari 0.5 Mhz sampai 25 Mhz (Berke, 1990).

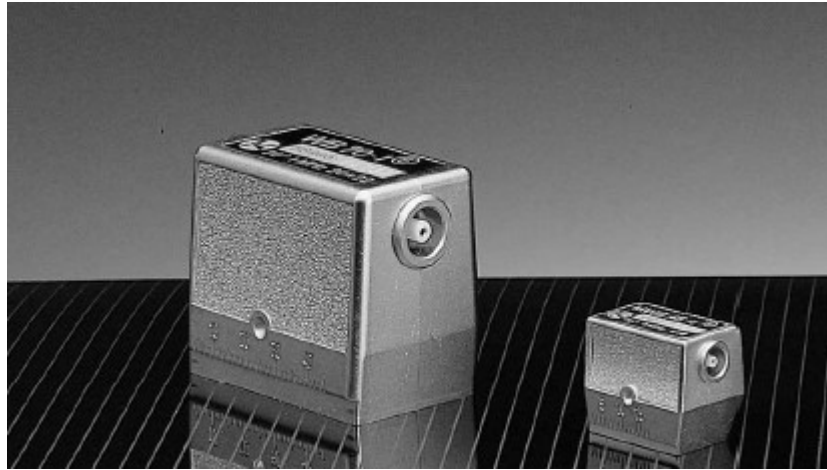


Gambar II.12. Pergerakan dan perambatan dari *probe* normal.
Sumber : Berke, 1990



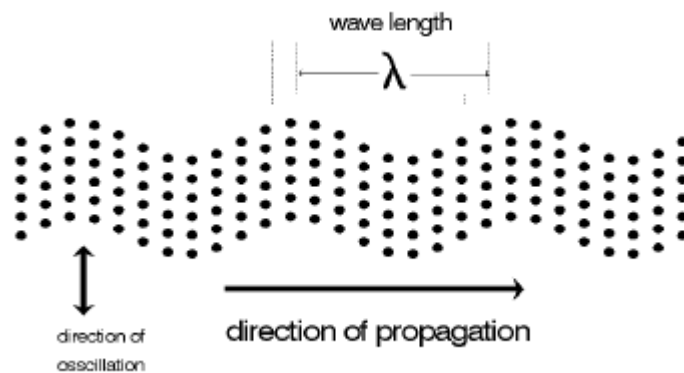
Gambar II.13. *Single transducer*.
Sumber : Hellier, 2003

Probe dimana arah datang (sorotannya) membentuk sebuah sudut disebut *probe* sudut karena *probe* tersebut memancarkan dan menerima gelombang suara dalam bentuk sudut terhadap permukaan benda seperti pada Gambar II.14 sampai Gambar II.16 (Hellier, 2003).

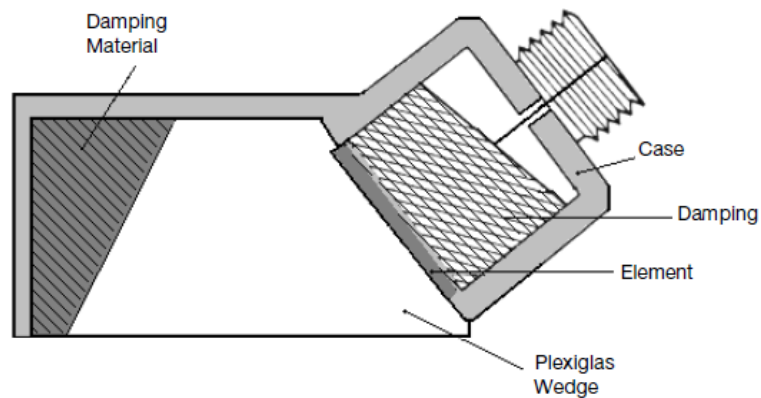


Gambar II.14. *Probe* sudut.
Sumber : Berke, 1990

Probe sudut standar pada umumnya memancarkan dan menerima disebabkan oleh alasan teknis, gelombang transversal atau gelombang geser (Berke, 1990).



Gambar II.15. Gelombang transversal.
Sumber : Berke, 1990



Gambar II.16. *Transducer* sudut.
Sumber : Hellier, 2003

Material kristal di dalam *transducer* ultrasonik dibuat dari material-material *piezoelectric* seperti *quartz*, *lithium sulfate*, dan *polarized ceramics* seperti pada Tabel II.1 (Birks & Lclntire, 1991).

1. *Quartz* adalah material yang pertama kali digunakan. Meskipun memiliki karakteristik yang stabil, *quartz* adalah penghasil energi suara yang buruk dan umumnya telah digantikan dengan material yang lebih efisien.
2. *Lithium Sulfate* adalah penerima energi suara yang sangat efisien namun bersifat getas, larut dalam air, dan penggunaannya terbatas pada suhu dibawah 74° C.
3. *Polarized ceramics* merupakan penghasil energi suara yang paling efisien namun cenderung mengalami keausan. *Polarized ceramiscs* yang umum dipakai adalah *barium titanate*, *lead metaniobate*, dan *lead zirconate/ titanate*.

Kemampuan sebuah *transducer* dinilai dari tiga hal yaitu sensitivitas, resolusi, dan efisiensi (Putra, 2013).

Sifat-sifat dari *transducer* dengan frekuensi f atau luasan A dapat didapat menggunakan hubungan dari ketebalan (Birks & Lclntire, 1991) :

$$t = \frac{t_1}{f}$$

dan untuk kapasitansi :

$$c = c_1 X f X A$$

dimana :

t = ketebalan (mm)

t_1 = 1 MHz ketebalan (mm)

f = frekuensi (MHz)

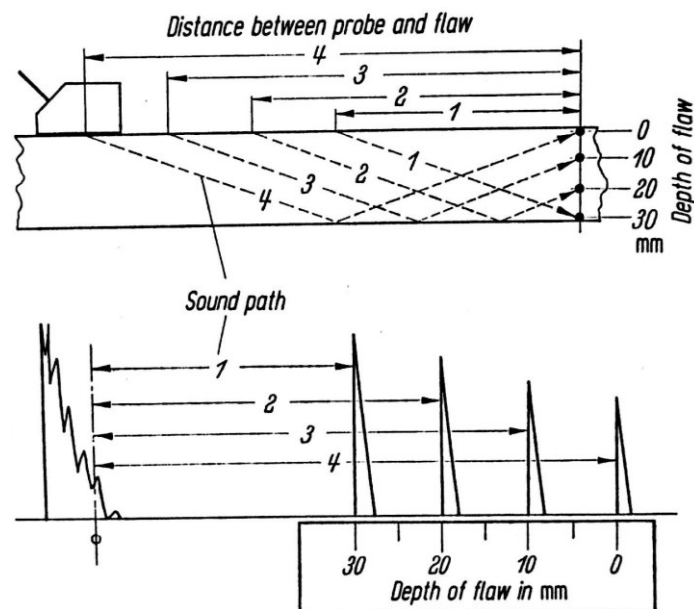
c = kapasitansi (picofarads)

c_1 = unit kapasitansi (kapasitansi per mm^2)

A = luasan (mm^2)

Tabel II.1. Material kristal dan karakteristiknya.
 Sumber : Birks & LcIntire, 1991

Crystal Material	Characteristics/Applications
Lead Metaniobate #1	Good power; great receiver; broad band; high temperature applications
Lead Metaniobate #2	Good transmitter and receiver; narrow band; contact transducers ≥ 2 MHz
PZT4	Good transmitter and receiver; best at lower frequencies; good penetrator of coarse-grained materials; high power applications
PZT5H	Great penetrator; good receiver; multifrequency; accelerometers
Lead Titanate	Great receiver; good penetrator; good at higher frequencies; medical diagnostics
Sodium Bismuth Titanate	Extremely stable; ultrahigh temperature applications

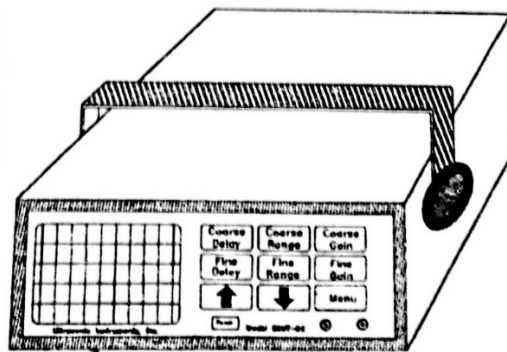


Gambar II.17. Lokasi cacat di dalam logam yang ditampilkan *unit display* berdasarkan kedalaman dan jarak *probe* sudut.

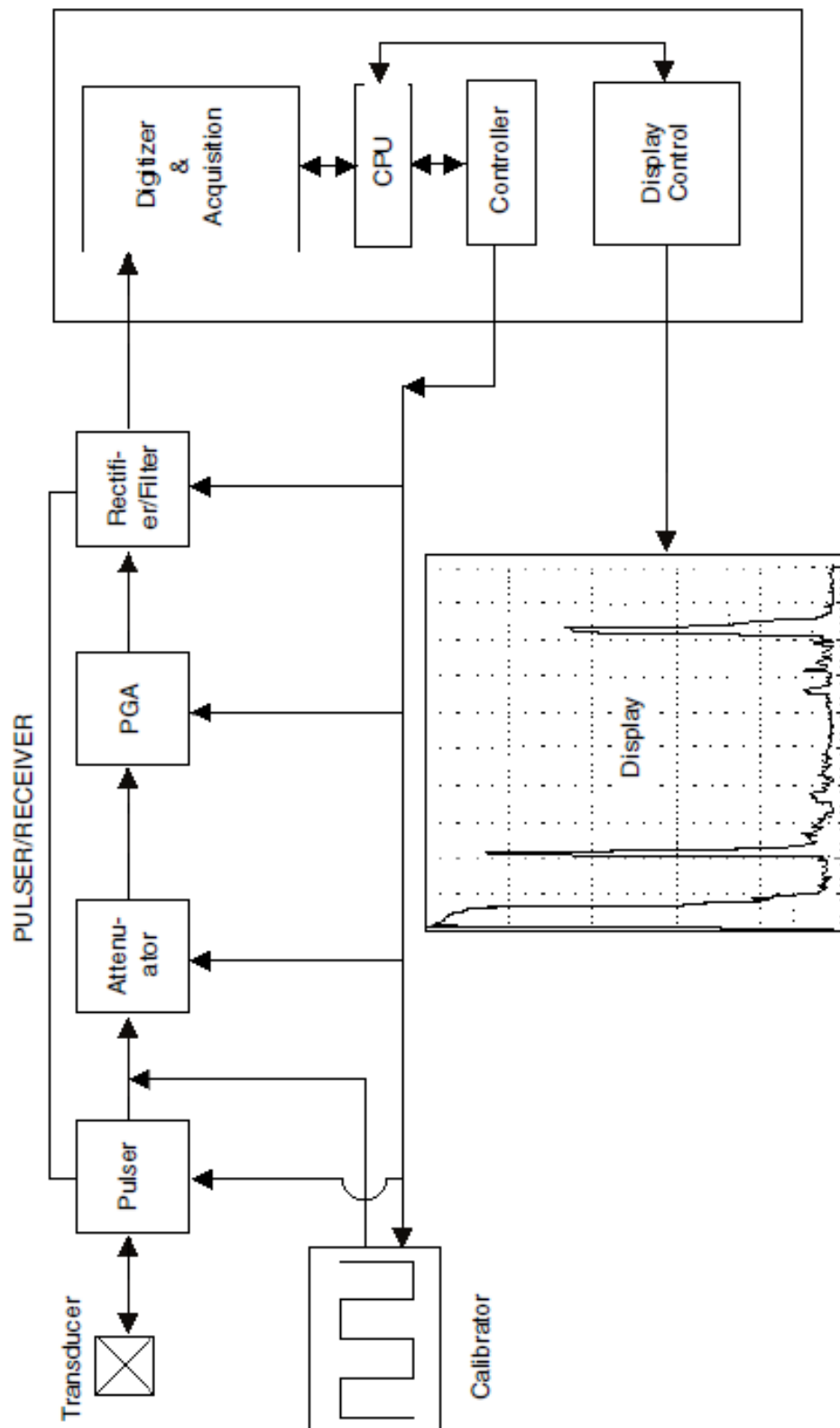
Sumber : Krautkramer J dan Krautkramer H, 1990

II.4.2. Unit Display

Peralatan Ultrasonik *Pulse Echo* membangkitkan pulsa listrik tegangan tinggi berdurasi singkat. Pulsa ini diaplikasikan pada *transducer* yang mengubah menjadi getaran mekanis yang dirambatkan ke dalam material yang diperiksa. Persentase terbesar gelombang suara dipantulkan kembali dari permukaan bagian belakang benda uji atau diskontinuitas. Gelombang suara yang diterima kembali oleh *transducer* akan diubah menjadi pulsa-pulsa listrik yang diperkuat dan ditampilkan pada layar sebagai pulsa-pulsa vertikal seperti pada Gambar II.18 (Putra, 2013).



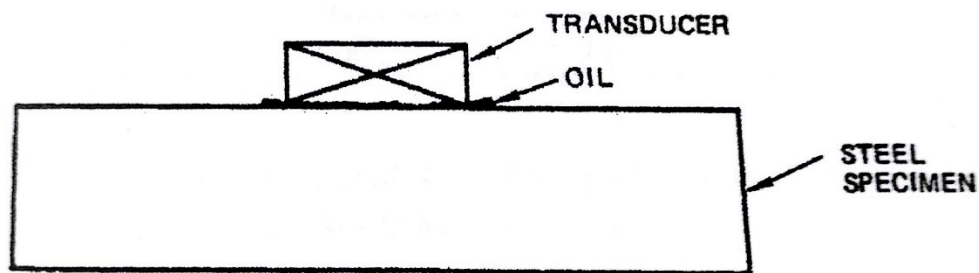
Gambar II.18. *Unit display*.
Sumber : Putra, 2013



Gambar II.19. Blok diagram digital.
Sumber : Hellier, 2003

II.4.3. Kuplan

Udara adalah penghantar gelombang suara pada frekuensi tinggi, dan ketidakcocokan impedansi antara udara dan kebanyakan material padat sangatlah besar. Bahkan lapisan tipis dari udara akan sangat menghambat transmisi gelombang suara dari *transducer* ke material. Untuk melakukan *contact testing* yang baik dengan *transducer piezoelectric* sangat perlu untuk menghilangkan udara antara *transducer* dan benda uji dengan menggunakan *couplant* / kuplan (ASM vol 17, 1997).



Gambar II.20. Kuplan untuk mencegah adanya rongga udara.

Sumber : Putra, 2013

Ada banyak zat yang cocok untuk digunakan sebagai kuplan, kriteria utama yang paling tepat adalah yang tidak menghasilkan reaksi kimia antara kuplan dan benda uji seperti terlihat pada Gambar II.20. Kebanyakan kuplan pada umumnya mempunyai impedansi akustik yang rendah. Pada pengujian *immersion* kuplan yang digunakan adalah air yang hanya membuat energi yang masuk ke dalam material sebesar 12%. Kebanyakan kuplan hanya membuat energi yang masuk ke material sekitar 10-15%. Diantara kuplan yang paling baik adalah gliserin. Adapun macam-macam kuplan yang biasa digunakan yaitu : air, minyak tanah, oli, gemuk, gliserin. Gel yang dirancang khusus (Hellier, 2013).

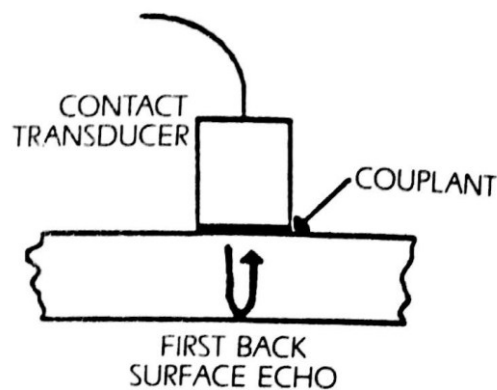
II.5. Pengujian Kontak Ultrasonik

Ultrasonik adalah teknik pemeriksaan yang serbaguna, dipakai untuk menguji bermacam-macam produk logam dan nonlogam seperti sambungan las, benda tempa, benda cor, lembaran tipis, tabung, plastik, dan keramik.

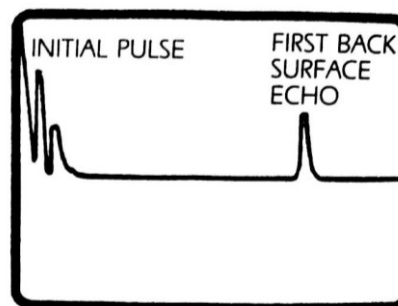
Ultrasonik memiliki keunggulan dapat mendeteksi diskontinuitas bawah permukaan dengan akses hanya dari satu sisi spesimen seperti pada Gambar II.21 sampai Gambar II.25. Tujuan pengujian ultrasonik adalah untuk memastikan keandalan produk dengan cara (Mix, 2005) :

1. Memperoleh informasi yang berhubungan dengan diskontinuitas.
2. Mengungkap sifat diskontinuitas tanpa mengganggu kegunaan benda
3. Memisahkan material yang diterima dan ditolak dengan mengacu pada standard yang telah ditetapkan.

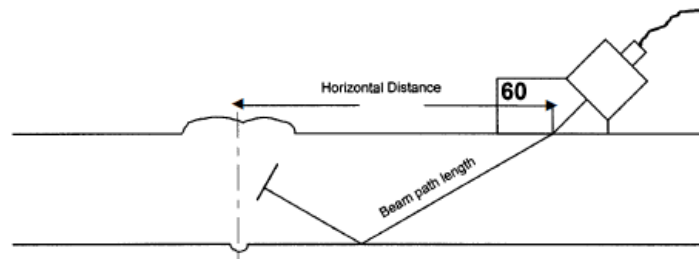
Ketika kristal piezoelektrik didorong oleh listrik tegangan tinggi, cincin kristal pada frekuensi resonansi dan menghasilkan semburan pendek dari frekuensi tinggi. “*Sound wave trains*” ini dihasilkan oleh *transducer* ultrasonik atau unit pencari yang ditransmisikan ke material yang akan diuji. Ketika unit pencari dalam kontak langsung dengan material yang akan diuji, teknik ini dinamakan pengujian kontak (Mix, 2005).



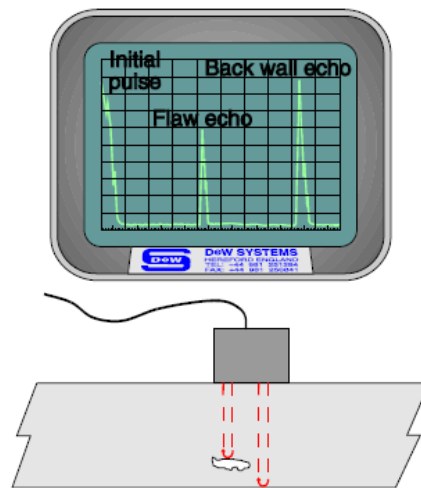
Gambar II.21. Pengujian kontak UT.
Sumber : Birks & McIntire, 1991



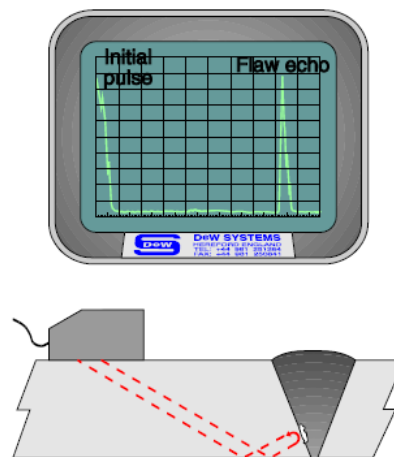
Gambar II.22. Inisial pulsa pada pantulan pertama.
Sumber : Birks & McIntire, 1991



Gambar II.23. Diskontinuitas dalam logam las pengujian kontak.
Sumber : Hellier, 2003



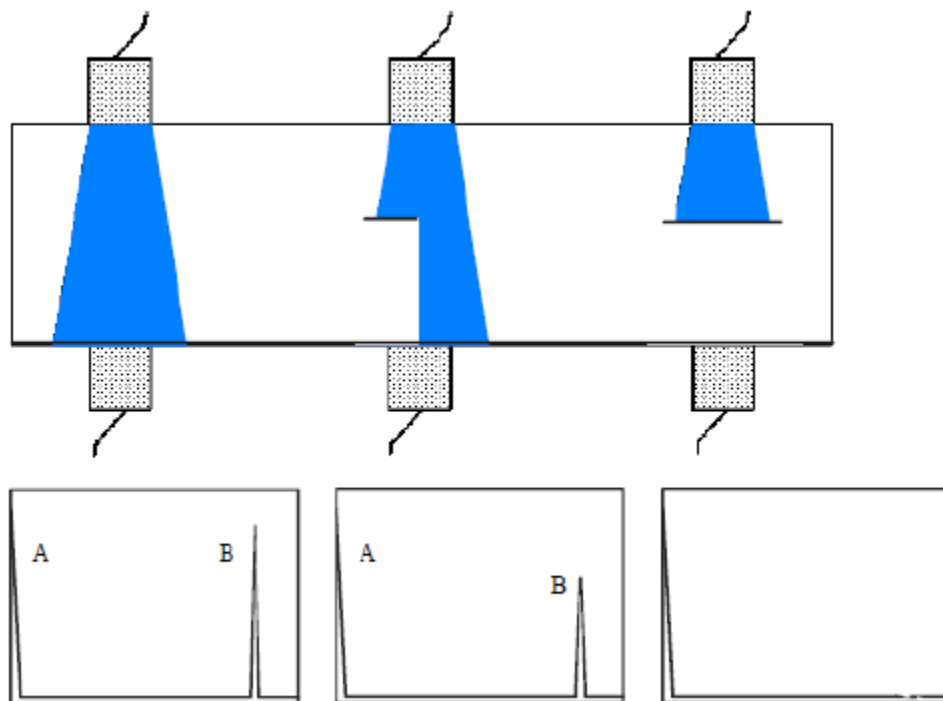
Gambar II.24. Diagram skematis pendeteksian *slag* dalam baja menggunakan probe normal.
Sumber : Willcox & Downes, 2003



Gambar II.25. Diagram skematis menggunakan probe sudut untuk mendeteksi cacat tidak langsung dibawah *probe*.
Sumber : Willcox & Downes, 2003

II.5.1. Through Transmission

Pada Gambar II.26 sistem through transmission diperlukan dua probe, yang satu berfungsi sebagai pemancar gelombang ultrasonik (transmitter), sedangkan satunya berfungsi sebagai penerima gelombang pantul (receiver). Gelombang ultrasonik yang dipancarkan ke dalam material dapat berupa pulsa pendek (short pulse) maupun gelombang kontinu (*continues wave*). Pemeriksaan kualitas material diukur dari banyaknya energi yang hilang selama merambat di dalam material. *Through transmission* sering juga dinamakan dengan *pitch-catch method*. Sistem pengujian ini mungkin dibutuhkan material yang memiliki atenuasi yang tinggi seperti polimer, komposit, beton, maupun kayu. Adapun juga digunakan bila cacat atau diskontinuitas yang mempunyai permukaan kasar maupun cacat sukar didapatkan dengan menggunakan sistem lainnya. *Through transmission* memiliki jarak rambat atau setengah lebih pendek bila dibandingkan dengan teknik *pulse echo*. Teknik ini juga memungkinkan untuk memancarkan gelombang di satu posisi dan menerimanya ada beberapa posisi lainnya (Hellier, 2003).



Gambar II.26. Through Transmission Technique.
Sumber : Railway, 2006

Sistem *through transmission* memiliki keuntungan antara lain :

1. Sistem ini memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mendeteksi cacat yang letaknya dekat dengan permukaan.
2. Kemampuan menguji material dengan ketebalan yang lebih besar dibandingkan sistem gelombang pantul.

Namun sistem *through transmission* tidak dapat melihat adanya diskontinuitas di dalam material karena sistem ini hanya bisa menunjukkan adanya kehilangan energi suara. (Hellier, 2003).

Sistem *through transmission* ini juga dapat diaplikasikan dengan menggunakan probe sudut kembar. Sistem probe ini sama dengan menggunakan probe normal, salah satu probe berfungsi sebagai pemancar, sedangkan yang lain berfungsi sebagai penerima. Probe sudut kembar dalam *system through transmission* merupakan alat yang sangat berguna dalam pengujian. Bisa digunakan untuk memeriksa pada material yang mempunyai bentuk kompleks, permukaan material, atau digunakan untuk mendeteksi cacat yang terletak di dekat permukaan material yang tidak bisa dideteksi dengan jenis probe lainnya. Keuntungan lainnya adalah *dead zone* yang terjadi di dekat probe pemancar dapat dihilangkan, hal ini menjadi keuntungan pada pemeriksaan cacat yang terletak di dekat permukaan material (Hellier, 2003).

II.5.2. Pulse Echo

Prinsip metode ini adalah dengan memanfaatkan pantulan gelombang yang berasal dari cacat di dalam material maupun permukaan balik material. Pada pengujian ini menggunakan *pulse echo contact testing* (Smilie, 1995).

Pada metode ini, transducer ditempelkan langsung ke permukaan material. Untuk menghilangkan udara antara permukaan material dan *transducer*, maka harus diberikan kuplan antara kedua material tersebut. Metode ini bisa menggunakan transducer tunggal maupun transducer kembar. Informasi mengenai keberadaan dan lokasi cacat di dalam material ditampilkan dengan 19 amplitudo sinyal pantul dan waktu dari sinyal pantul yang diterima transducer (Smilie, 1995).

Keuntungan utama dari metode ini adalah dapat diterapkan pada material yang besar dan berbentuk kompleks. Metode ini juga tidak memerlukan tangki air seperti *immersion method*. Teknik *pulse echo contact* mampu memberikan sensitivitas yang tinggi terhadap diskontinuitas yang berukuran kecil atau yang terletak di bawah permukaan material.

Diskontinuitas yang terletak di dalam material juga dapat dideteksi dengan metode ini, terutama cacat laminar yang bentuknya tegak lurus dengan arah datang pancaran gelombang. Pada diskontinuitas yang permukaannya kasar atau pada diskontinuitas yang berbentuk bola kecil (porosity) pancaran gelombang ultrasonik akan dibaurkan dan gelombang balik akan melemah. Keberadaan cacat dapat diketahui dari berkurangnya amplitude gelombang pantul yang berasal dari permukaan balik material (Smilie, 1995).

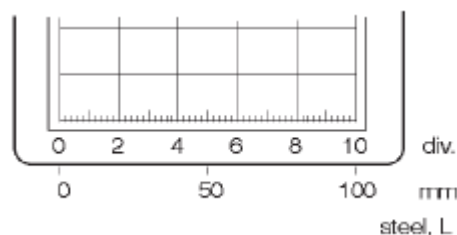
Kekurangan dari metode ini adalah adanya pengurang resolusi di dekat permukaan material. Hal ini dikarenakan adanya pelebaran sinyal awal pada layar. Pelebaran sinyal ini disebabkan kontak langsung antara permukaan transducer dengan permukaan material yang dapat menyebabkan adanya letupan atau eksitasi yang besar dari energi gelombang. Letupan energi ini sedikit dapat dikurangi dengan memberikan kuplan antara permukaan transducer dengan permukaan material. (Smilie, 1995).

Metode ini dapat pula dilakukan dengan menggunakan probe normal maupun dengan probe sudut. Dilihat dari penggunaan probe, metode pengujian *pulse echo* ini dibagi menjadi dua bagian (Berke, 1990) :

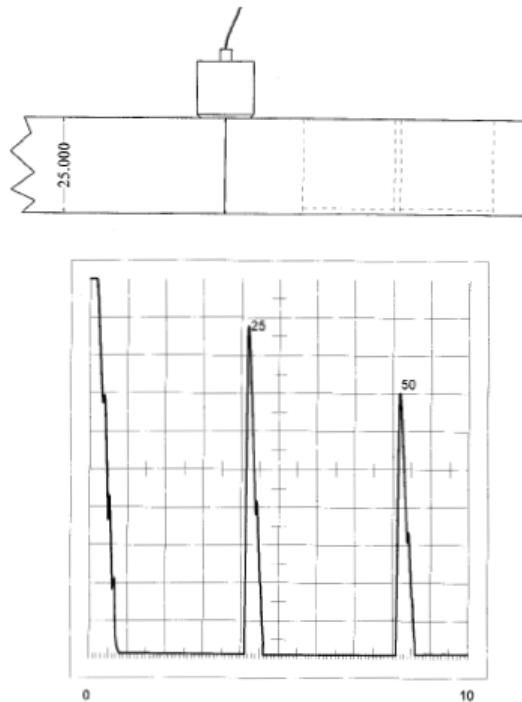
1. Straight Beam Contact Testing (Normal Probe)
2. Angle Beam Contact Testing (Angle Probe)

II.6. Kalibrasi Alat

Bagian yang digunakan untuk kalibrasi disebut blok kalibrasi, atau blok kalibrasi standar jika blok digunakan sebagai standarisasi. Blok kalibrasi standar 1 juga disingkat dengan sebutan V1 (mengacu pada BS 2704-A2) yang mempunyai ketebalan tepatnya 25 mm dan terbuat dari *low alloyed fine grained steel* oleh karena itu material tersebut dapat digunakan untuk semua tipe kalibrasi yang serupa ketika baja-baja yang serupa akan diuji untuk *probe* normal seperti Gambar II.28. Contoh 1 *range* kalibrasi 100 mm baja (gelombang longitudinal) Skala 10 pada tampilan horizontal adalah untuk memuat range 100 mm seperti pada Gambar II.27 (Berke, 1992).

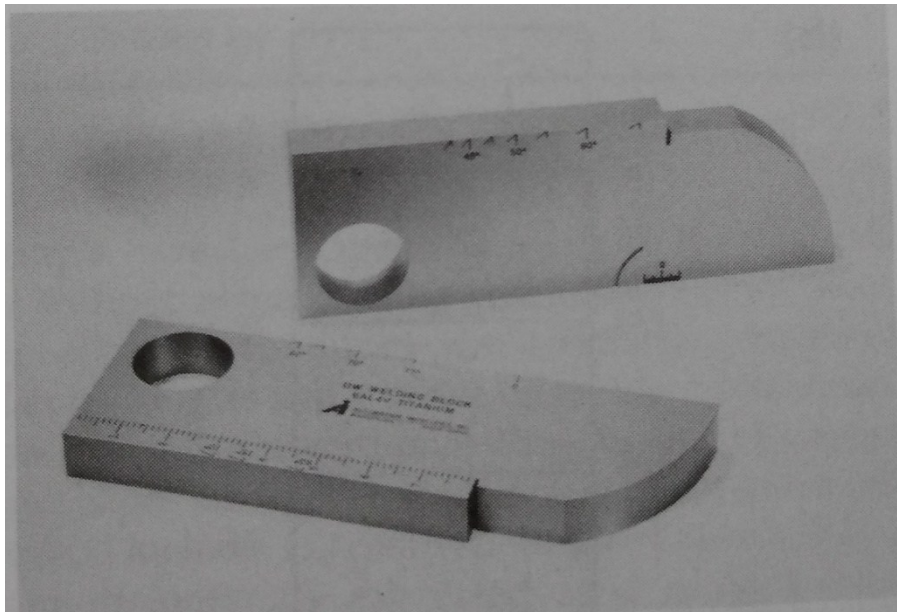


Gambar II.27. Range kalibrasi 0-100mm.
Sumber : Berke, 1992

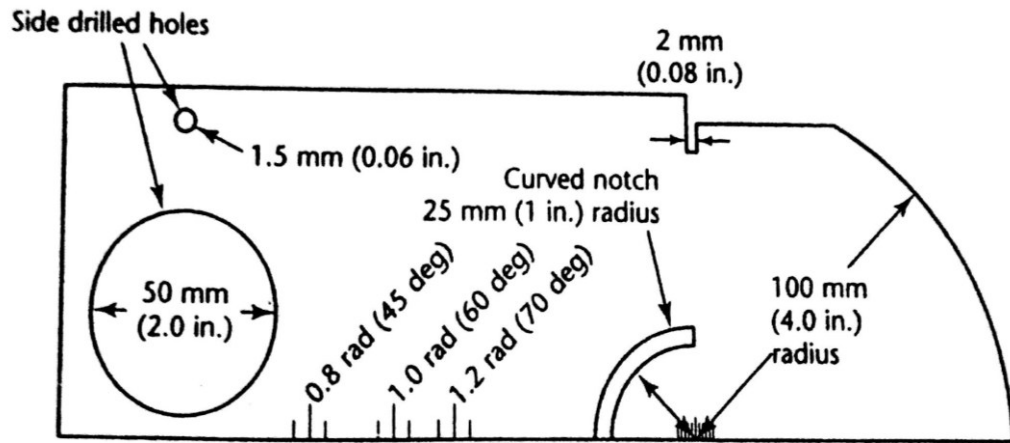


Gambar II.28. Pantulan sinyal probe normal.
Sumber : Berke, 1992

Pada Gambar II.29 blok kalibrasi yang dapat digunakan untuk pengujian ultrasonik adalah blok IIW (International Institute of Welding) V1. Blok tersebut berfungsi untuk : memverifikasi besarnya jarak, sudut probe dari exit point, dan memeriksa resolusi *transducer*.

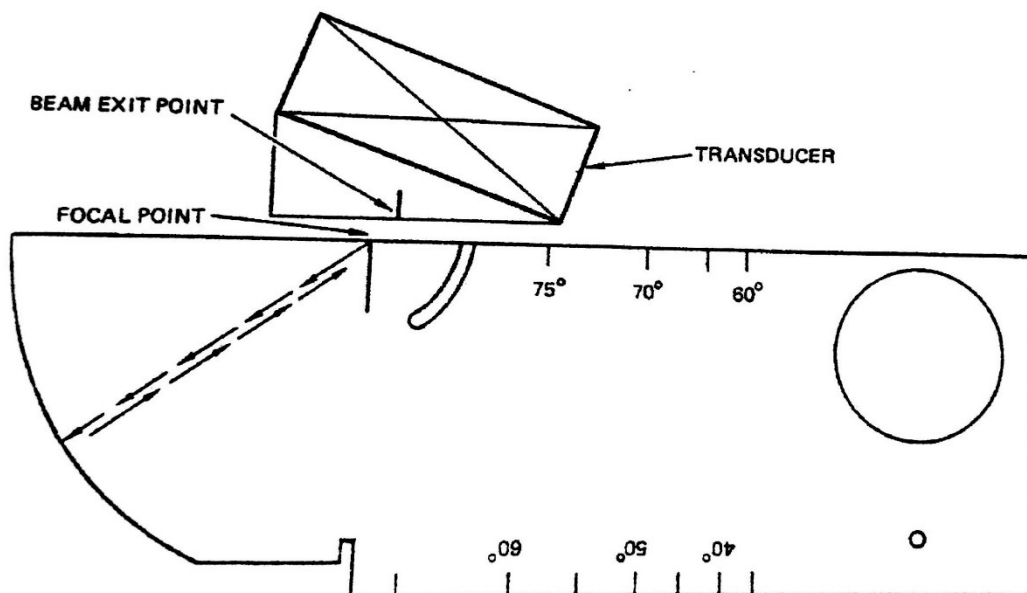


Gambar II.29. *American Variation of International Institute of Welding* blok referensi ultrasonik AWS D1.1, tersedia dalam 7570-T65 *anodized aluminium*, 4340 *nickel plate steel* dan *titanium alloy*.
Sumber : Birks & McIntire, 1991



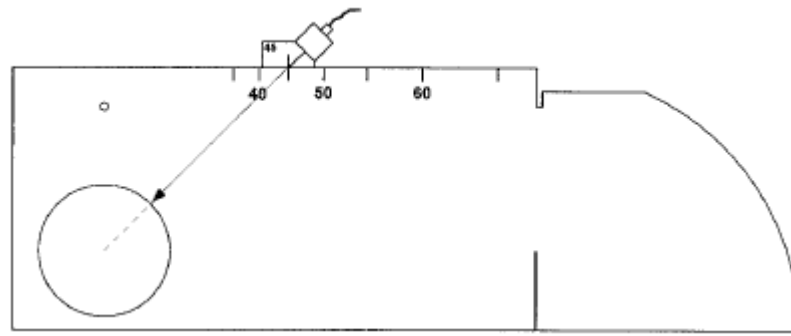
Gambar II.30. Dimensi Blok IIW.
Sumber : Moore, 2012

Dalam pengujian kontak dengan probe sudut, letak exit point dari probe harus diketahui untuk menentukan lokasi diskontinuitas secara akurat yang ukurannya seperti Gambar II.30. Probe digerakkan maju mundur hingga pip pada layar mencapai amplitudo maksimum. Titik fokus pada blok IIW selanjutnya berhubungan dengan *exit point* berkas suara dari probe seperti yang ditampilkan pada Gambar II.31 (Putra, 2013).



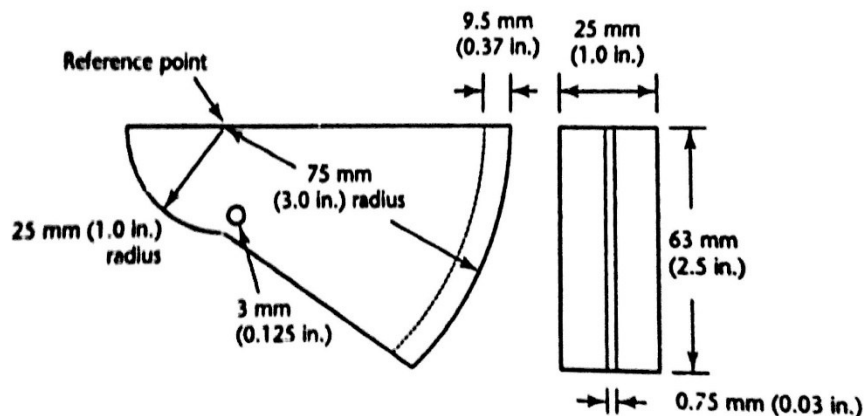
Gambar II.31. Menentukan letak *exit point* pada probe.
Sumber : Putra, 2013

Baji plastik pada probe sudut akan mengalami keausan dalam penggunaannya. Keausan ini dapat mengubah *exit point* dan sudut berkas suara. Verifikasi besarnya sudut probe dapat dilakukan dengan cara pada Gambar II.32 :

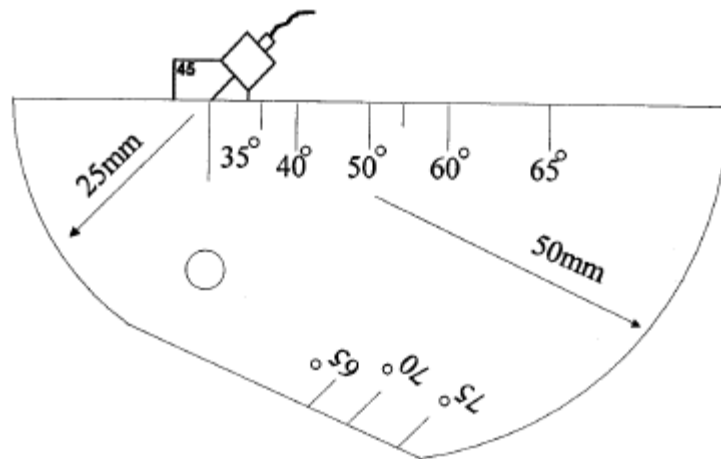


Gambar II.32. Verifikasi *probe* sudut.
Sumber : Hellier, 2003

Pada posisi diatas probe digerakan maju mundur hingga pantulan dari lubang berdiameter 2 inchi menghasilkan amplitudo maksimum pada layar. Sudut berkas suara dapat dibaca pada lokasi *exit point* pada *transducer* bersesuaian dengan besarnya derajat yang tertera pada sisi-sisi blok. Blok sudut miniatur V2 seperti pada Gambar II.33 juga dapat dipakai untuk menghasilkan perangkat saat pemeriksaan menggunakan probe sudut seperti pada Gambar II.34. Blok miniatur V2 dimaksudkan untuk pemakaian saat pekerjaan di lapangan dan tidak selengkap blok IIW V1 yang lebih besar (Putra, 2013).



Gambar II.33. Ukuran Blok sudut miniatur V2.
Sumber : Moore, 2012



Gambar II.34. Acuan kalibrasi sudut V2.
Sumber : Hellier 2003

II.7. Standard pengujian ultrasonik

Tujuan dari spesifikasi-spesifikasi dan standard ialah untuk menjelaskan persyaratan bahwa barang dan jasa harus memenuhi. Dengan dimikan hal-hal tersebut dimaksudkan untuk tergabung dalam kontrak sehingga antara pembeli dan penyedia mempunyai pemahaman deskripsi yang baik dari apa yang mereka terima dan apa yang mereka akan sediakan. Standar akan melalui proses pengawasan yang ketat dalam industri dan dapat diminta dengan kekuatan hukum melalui kontrak oleh regulasi pemerintah. Dilihat dari perbedaannya, spesifikasi menyatakan instruksi dari perusahaan untuk pekerja dan spesifik pada kontrak atau tempat kerja. Banyak spesifikasi-spesifikasi berasal sebagai rincian deskripsi antara bagian dari pihak persyaratan pembayaran atau sebagai bagian dari vendor. Spesifikasi-spesifikasi mungkin terpisah dalam standard melalui proses pemeriksaan normal. Standard-standard dan spesifikasi-spesifikasi terdiri dari 3 area cakupan : peralatan, proses, dan pegawai. Kualifikasi dan sertifikasi dari *testing personnel recommendations* dari *ASNT recommended practice No.SNT-TC-1A* (Moore, 2012).

Standard pengujian yang digunakan ialah AWS (*American Welding Society*) D1.1/D1.M:2015 *An American National Standard, Structural Welding Code – Steel*.

II.7.1. UT Equipment Requirement

Perlatan ultrasonik harus bertipe *pulse echo* yang cocok dengan *transducer* pada frekuensi antara 1 sampai 6 *megahertz* (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.1).

II.7.2. Kalibrasi Instrumen Pengujian

Instrumen pengujian harus memiliki sebuah kontrol *gain* yang dikalibrasi (*attenuator*) bisa diubah-ubah dalam variasi 1 atau 2 dB diatas range pada paling tidak 60 dB. Akurasi dari pengaturan *attenuator* harus dalam plus atau minus 1 dB (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.4).

II.7.3. Probe Normal

Transducer probe normal (gelombang memanjang) harus memiliki daerah yang aktif tidak kurang dari $\frac{1}{2}$ in² (323 mm²) dan tidak lebih dari 1 in² (645 mm²). *Transducer* yang digunakan harus bulat atau persegi (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.6).

II.7.4. Probe Sudut

Transducer probe sudut harus terdiri dari *transducer* dan sepatu *probe* dengan sudut. Unit dapat terdiri dari *transducer* yang terpisah atau satu kesatuan (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7).

Transducer harus memiliki frekuensi antara 2 dan 2.5 Mhz (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7.1).

Kristal *transducer* harus berbentuk persegi atau persegi panjang dan memiliki lebar bervariasi dari 5/8 in sampai 1 in (15 mm sampai 25 mm) dan untuk tinggi kristal harus dengan ukuran 5/8 sampai 13/16 in (15 mm sampai 20 mm). Maksimum ukuran lebar berbanding tinggi ialah 1.2 : 1.0 dan untuk minimum lebar berbanding tinggi ialah 1.0:1.0 (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7.2).

Transducer harus menghasilkan gelombang suara dalam material yang akan diuji dalam plus atau minus 2° dari salah satu *probe* yang semestinya digunakan : 70°, 60°, dan 45°(AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7.3).

Dimensi dari *probe* untuk jarak dari *index point* / titik keluar gelombang suara ke depan sisi probe tidak melebihi 1 in (25 mm) (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7.6).

II.7.5. Tipe Blok IIW

Pada Gambar II.35, prosedur kualifikasi menggunakan blok referensi IIW (*International Institute of Welding*) atau tipe lain dari tipe IIW yang lain harus sesuai dengan gambar 2.34 (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.21.7.7).

II.7.7. Kalibrasi Jarak Probe Normal

Horizontal sweep diatur pada kalibrasi jarak untuk menampilkan paling tidak dua kali tebal pelat pada layar (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.24.4.1).

II.7.8. Sensitivitas Probe Normal

Sensitivitas harus diatur pada lokasi yang bebas dari indikasi oleh karena itu pantulan pertama dari sisi yang lebih jauh dari pelat ditampilkan 50% sampai 75% dari ketinggian layar (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.24.4.2).

II.7.9. Kalibrasi Jarak Probe Sudut

Kalibrasi untuk *probe* sudut dilakukan seperti berikut (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.24.5) :

Horizontal Sweep / kalibrasi jarak diatur untuk menampilkan *sound path* yang aktual menggunakan blok tipe IIW seperti yang dideskripsikan dalam 6.22.1 (gambar 2.35). Jarak kalibrasi harus dibuat menggunakan skala 5 inch (125 mm) atau skala 10 inch (250 mm) pada display, yang mana lebih sesuai. Jika, bentuk sambungan atau tebal pelat mencegah pengujian secara menyeluruh dari sambungan las-lasan pada salah satu pengaturan ini, kalibrasi jarak dibuat menggunakan 15 inch atau 20 inch (400 mm atau 500 mm) (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.24.5.1).

II.7.10. Kuplan

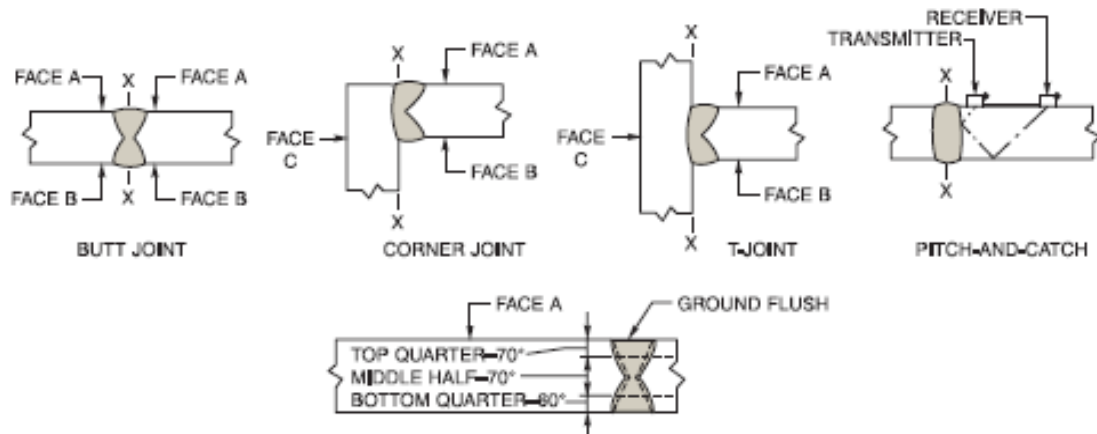
Kuplan material digunakan antara *probe* dan material uji. Kuplan dapat berupa gliserin atau *cellulose gum* dan *water mixture of a suitable consistency*. Pembasahan dapat dilakukan jika diperlukan. Pelumas mesin yang bersih (bersih) bisa digunakan untuk kuplan pada blok kalibrasi (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.25.4).

II.7.11. Scanning

Sudut pengujian dan prosedur harus sesuai dengan Tabel II.2, Tabel II.3, dan Tabel II.4 (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.24.6.1).

Tabel II.2. Sudut pengujian.
Sumber : AWS D.1.1/D1.M:2015 Tabel 6.7

Table 6.7 Testing Angle (see 6.26.5.2)																		
Procedure Chart																		
Material Thickness, in. [mm]																		
Weld Type	5/16 [8] to 1-1/2 [38]		> 1-1/2 [38] to 1-3/4 [45]		> 1-3/4 [45] to 2-1/2 [60]		> 2-1/2 [60] to 3-1/2 [90]		> 3-1/2 [90] to 4-1/2 [110]		> 4-1/2 [110] to 5 [130]		> 5 [130] to 6-1/2 [160]		> 6-1/2 [160] to 7 [180]		> 7 [180] to 8 [200]	
	†		†		†		†		†		†		†		†		†	
Butt	1	O	1	F	1G or 4	F	1G or 5	F	6 or 7	F	8 or 10	F	9 or 11	F	12 or 13	F	12	F
T-	1	O	1	F or XF	4 or XF	F or XF	5 or XF	F or XF	7 or XF	F or XF	10 or XF	F or XF	11 or XF	F or XF	13 or XF	F or XF	—	—
Corner	1	O	1	F or XF	1G or 4	F or XF	1G or 5	F or XF	6 or 7	F or XF	8 or 10	F or XF	9 or 11	F or XF	13 or 14	F or XF	—	—
Electrode & Electroslag	1	O	1	O	1G or 4	1†† or 3	1G or 3	P1 or P3	6 or 7	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15	P3	11 or 15††	P3



General Notes:

- Where possible, all examinations shall be made from Face A and in Leg 1, unless otherwise specified in this table.
- Root areas of single groove weld joints which have backing not requiring removal by contract, shall be tested in Leg 1, where possible, with Face A being that opposite the backing. (Grinding of the weld face or testing from additional weld faces may be necessary to permit complete scanning of the weld root.)
- Examination in Leg II or III shall be made only to satisfy provisions of this table or when necessary to test weld areas made inaccessible by an unground weld surface, or interference with other portions of the weldment, or to meet the requirements of 6.26.6.2.
- A maximum of Leg III shall be used only where thickness or geometry prevents scanning of complete weld areas and HAZs in Leg I or Leg II.
- On tension welds in cyclically loaded structures, the top quarter of thickness shall be tested with the final leg of sound progressing from Face B toward Face A, the bottom quarter of thickness shall be tested with the final leg of sound progressing from Face A toward Face B; i.e., the top quarter of thickness shall be tested either from Face A in Leg II or from Face B in Leg I at the contractor's option, unless otherwise specified in the contract documents.
- The weld face indicated shall be ground flush before using procedure 1G, 6, 8, 9, 12, 14, or 15. Face A for both connected members shall be in the same plane.

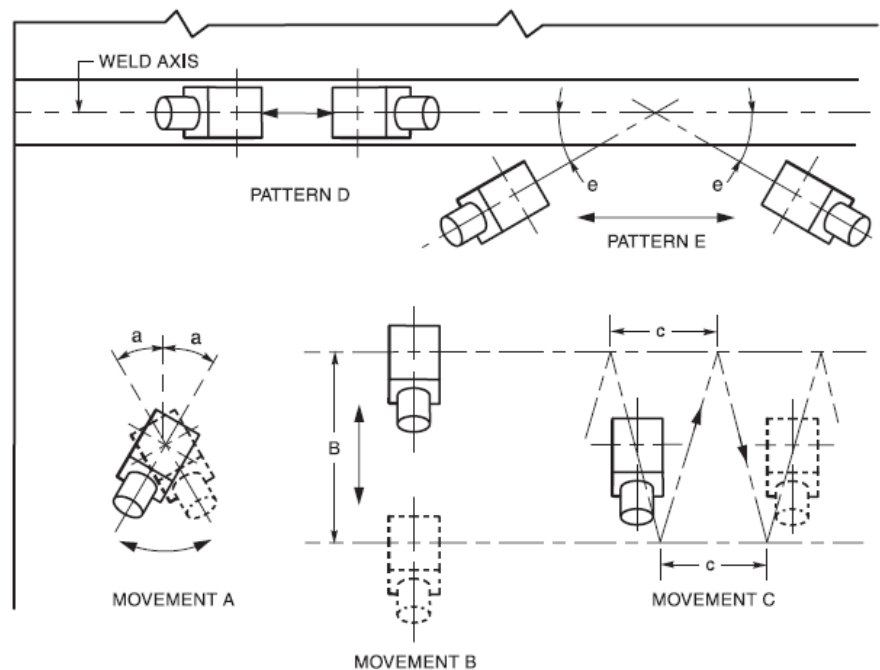
(See Legend on next page)

Tabel II.3. Sudut pengujian (lanjutan).
Sumber : (AWS D.1.1/D1.M:2015 Tabel 6.7).

Table 6.7 (Continued)				
Legend:				
X	— Check from Face "C."			
G	— Grind weld face finish.			
O	— Not required.			
A Face	— the face of the material from which the initial scanning is done (on T- and corner joints, follow above sketches).			
B Face	— opposite the "A" face (same plate).			
C Face	— the face opposite the weld on the connecting member or a T- or corner joint.			
#	— Required only where display reference height indication of discontinuity is noted at the weld metal-base metal interface while searching at scanning level with primary procedures selected from first column.			
H	— Use 15 in. [400 mm] or 20 in. [500 mm] screen distance calibration.			
P	— Pitch and catch shall be conducted for further discontinuity evaluation in only the middle half of the material thickness with only 45° or 70° transducers of equal specification, both facing the weld. (Transducers must be held in a fixture to control positioning—see sketch.) Amplitude calibration for pitch and catch is normally made by calibrating a single search unit. When switching to dual search units for pitch and catch inspection, there should be assurance that this calibration does not change as a result of instrument variables.			
F	— Weld metal-base metal interface indications shall be further evaluated with either 70°, 60°, or 45° transducer—whichever sound path is nearest to being perpendicular to the suspected fusion surface.			
Procedure Legend				
Area of Weld Thickness				
No.	Top Quarter	Middle Half	Bottom Quarter	
1	70°	70°	70°	
2	60°	60°	60°	
3	45°	45°	45°	
4	60°	70°	70°	
5	45°	70°	70°	
6	70°G A	70°	60°	
7	60° B	70°	60°	
8	70°G A	60°	60°	
9	70°G A	60°	45°	
10	60° B	60°	60°	
11	45° B	70°H	45°	
12	70°G A	45°	70°G B	
13	45° B	45°	45°	
14	70°G A	45°	45°	
15	70°G A	70°A B	70°G B	

II.7.12. Sambungan Tumpul (Butt Joint)

Pada Gambar II.37 semua las-lasan sambungan tumpul harus diperiksa dari masing-masing sisi (kanan dan kiri) dari titik tengah sambungan las-lasan. Sambungan sudut dan sambungan t joint diperiksa terutama dari satu sisi hanya dari garis tengah las-lasan. Seluruh pengelasan diuji menggunakan pola pengujian yang bisa diterapkan atau pola pada gambar 6.36 jika diperlukan untuk mendeteksi baik diskontinuitas *longitudinal* maupun diskontinuitas *transversal*. Hal ini bertujuan bahwa spesifikasi paling minimum, semua las-lasan yang diujikan dengan melewati gelombang suara melewati keseluruhan ruang las-lasan dan HAZ dalam dua arah yang bersebrangan, dimanapun bisa diterapkan (AWS D.1.1/D1.M:2015 Part F 6.25.6.2).



General Notes:

- Testing patterns are all symmetrical around the weld axis with the exception of pattern D, which shall be conducted directly over the weld axis.
- Testing from both sides of the weld axis shall be made wherever mechanically possible.

Gambar II.37. Pola pengujian UT.
Sumber : AWS D.1.1/D1.M:2015 gambar 6.15

Tabel II.4. Kriteria penerimaan dan penolakan pengujian UT pada beban statis dan berulang dalam sambungan kompresi nontubular.

Sumber : AWS D.1.1/D1.M:2015 Table 6.2

Discontinuity Severity Class	Weld Thickness ¹ in in. [mm] and Search Unit Angle										
	5/16 through 3/4 [8–20]	> 3/4 through 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Class A	+5 & lower	+2 & lower	–2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	–5 & lower	–2 & lower	0 & lower	–7 & lower	–4 & lower	–1 & lower
Class B	+6	+3	–1 0	+2 +3	+4 +5	–4 –3	–1 0	+1 +2	–6 –5	–3 –2	0 +1
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	–2 to +2	+1 +2	+3 +4	–4 to +2	–1 to +2	+2 +3
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up

General Notes:

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the longer discontinuity, except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at "scanning level" in the root face area of CJP double groove weld joints shall be evaluated using an indicating rating 4 dB more sensitive than described in 6.20.6.5 when such welds are designated as "tension welds" on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating "d"). This shall not apply if the weld joint is backgouged to sound metal to remove the root face and MT used to verify that the root face has been removed.
- BSW or BGW: discontinuities detected at "scanning level" which exceed 2 in. [50 mm] in length shall be suspected as being piping porosity and shall be further evaluated with radiography.
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 6.13.1.

Note:

1. Weld thickness shall be defined as the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

Class A (large discontinuities) Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).	Scanning Levels	
	Sound path ² in in. [mm]	Above Zero Reference, dB
Class B (medium discontinuities) Any indication in this category having a length greater than 3/4 in. [20 mm] shall be rejected.	through 2-1/2 [65 mm]	14
Class C (small discontinuities) Any indication in this category having a length greater than 2 in. [50 mm] shall be rejected.	> 2-1/2 through 5 [65–125 mm]	19
Class D (minor discontinuities) Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.	> 5 through 10 [125–250 mm]	29
	> 10 through 15 [250–380 mm]	39
	Note:	
	2. This column refers to sound path distance; NOT material thickness.	

II.8. Kelebihan dan Kekurangan Pengujian ultrasonik

Tidak ada metode pengetesan tanpa merusak yang bisa diterapkan pada segala kondisi. Beberapa metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Hal tersebut adalah tentang permasalahan pemilihan metode yang menyediakan metode pendekatan paling efektif dalam menyelesaikan masalah perhitungan. Ketika menentukan apakah ultrasonik merupakan metode

yang paling sesuai, pertimbangan-pertimbangan untuk menggunakan pengujian ultrasonik ialah sebagai berikut (Hellier, 20013) :

1. Ukuran yang diperiksa.
2. Jenis material.
3. Tebak material.
4. Proses pengerjaan material.
5. Tipe diskontinuitas yang dapat dideteksi.
6. Ukuran minimum diskontinuitas yang akan diperiksa.
7. Lokasi dari diskontinuitas – permukaan – *breaking* – atau *internal*.
8. Orientasi diskontinuitas (sangat penting ketika memilih teknik pengujian).
9. Akses daerah yang akan diuji.
10. Kondisi permukaan.
11. Tipe rekaman pengujian yang dibutuhkan.

Inspeksi dengan pengujian ultrasonik sangat ideal untuk lokasi diskontinuitas yang kecil, diskontinuitas yang rapat berdasarkan (Hellier, 20013) :

1. Energi suara yang diproyeksikan pada beberapa sudut yang akan direspon secara baik oleh orientasi dari reflektor.
2. Hubungan antara ukuran diskontinuitas dan butiran struktur yang dapat diterima oleh rasio *noise*.
3. Kondisi permukaan sangat cocok untuk dilakukan pengujian. Permukaan pengujian yang buruk tidak hanya membutuhkan kekentalan kuplan tetapi juga memungkinkan untuk menggunakan frekuensi pengujian yang rendah. Hal ini tidak memerlukan pentingnya resolusi untuk pengujian.

Kelebihan-kelebihan dalam pengujian ultrasonik adalah sebagai berikut (Hellier, 2003) :

1. Pengujian dapat diselesaikan dari satu sisi permukaan.
2. Pendeteksian diskontinuitas yang kecil.
3. Variabel-variabel pengujian yang dapat diatur.
4. Variasi dari teknik pengujian dapat diterapkan menggunakan mode perambatan gelombang yang bervariasi.
5. Pengujian dalam temperatur tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan yang tepat.
6. Pengujian bagian yang tebal dan panjang.

7. Material yang tertimbun contohnya poros didalam *captivated bearing houses*.
8. Teknik pengukuran yang akurat untuk retak permukaan dan diskontinuitas internal .
9. Memperoleh informasi kedalaman.
10. Cacat *Surface* dan *Subsurface* dapat dideteksi.
11. *Scan* dengan kecepatan tinggi dapat dilakukan dengan sinyal elektronik dan sistem alarm.
12. Pengujian “Go/No-Go” dari komponen produksi.
13. Pengetesan dapat dilakukan berulang.
14. Peralatan yang ringan dan mudah dibawa-bawa.
15. Tidak dibutuhkan area evakuasi .
16. Tidak dibutuhkan lisensi khusus seperti sumber radiasi.
17. Material yang digunakan tidak ada yang termakan (sangat sedikit).

Beberapa keterbatasan dalam melakukan pengujian ultrasonik (Hellier, 20013) :

1. Diskontinuitas yang sejajar dengan energi suara akan selalu tidak bisa terdeteksi. Orientasi dari diskontinuitas (reflektor) adalah faktor yang paling menentukan dalam mendeteksi diskontinuitas
2. Diskontinuitas yang mirip atau lebih kecil dari ukuran butir material sulit terdeteksi
3. Bagian-bagian yang tipis dapat menyampaikan permasalahan resolusi atau kebutuhan implementasi dari spesifikasi teknik
4. Permukaan yang tidak merata dapat mengurangi efektifitas dari pengujian
5. Sinyal dapat disalahartikan. Hal ini termasuk sinyal palsu dari konversi mode gelombang atau arah sudut dan lain-lain
6. Secara umum, metode ini memerlukan keterampilan dan pelatihan tingkat tinggi
7. Catatan permanen dari hasil pemeriksaan bukanlah tipikal (khas). Catatan pengujian terbatas dokumentasi fisik daripada reproduksi tes yang aktual. Misalnya seperti kemungkinan pada radiografi .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Pengadaan material

Hal yang pertama dilakukan untuk melakukan persiapan bahan uji adalah pengadaan material uji. Material uji yang digunakan adalah baja karbon A36 yang diperoleh dari pembelian pelat sisa pembuatan kapal seperti terlihat pada Gambar III.1. Pelat ini di potong sedemikian rupa hingga membentuk material uji yang diinginkan. Material tersebut berbentuk persegi panjang yang masing-masing berukuran :

1. 300 X 150 X 19 mm sebanyak dua buah
2. 300 X 150 X 12 mm sebanyak dua buah
3. 200 X 100 X 40 mm sebanyak satu buah
4. 150 X 100 X 20 mm sebanyak satu buah



Gambar III.1. Lembaran pelat yang belum dipotong sesuai ukuran.



Gambar III.2. Proses pemotongan material uji.

Material yang telah dipotong kemudian dilas menggunakan proses las SMAW. Material tersebut harus dibentuk sedemikian rupa karena pelat yang diperoleh dari pembelian yang kondisinya sangat buruk untuk dilakukan pengelasan seperti terlihat pada Gambar III.2.

III.2. Pembuatan Spesimen Uji

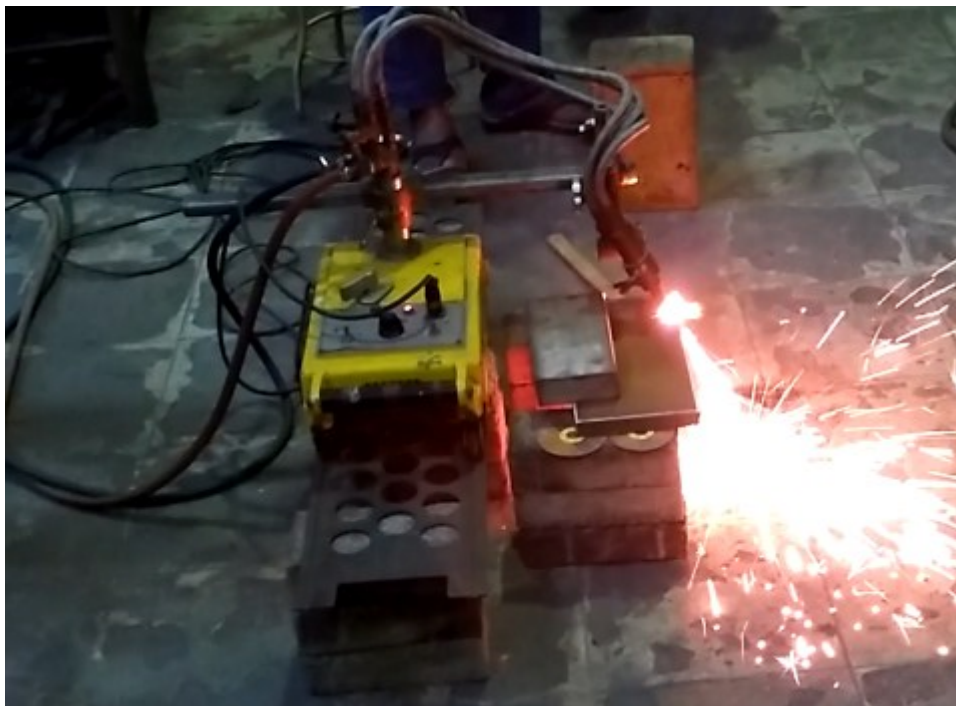
Proses pengerjaan material mula-mula dengan mengelas *butt join* untuk dua material uji dan *t joint* untuk satu buah material uji. Kedua proses pengelasan menggunakan SMAW. Berikut adalah spesifikasi pengelasan yang dilakukan :

1. Proses pengelasan : Shield Metal Arc Welding (SMAW).
2. Elektroda : E7016.
3. Diameter Elektroda : 3.2 mm.
4. Mesin Las : ESAB LHE 300.
5. Arus : 80-120 A.
6. Temperatur elektroda : 150°C.
7. Jenis sambungan : *butt* dan *T join*.
8. Posisi pengelasan : 1G.
9. Travel Speed : 50-100 mm / menit.
10. Jenis material induk : baja karbon A36 .



Gambar III.3. Material yang sudah dipotong.

Seperti pada Gambar III.3 material yang telah dipotong kemudian dibuat *bavel* pengelasan untuk material tanpa *chamfer*. Pada material dengan *chamfer* dibuat sudut *chamfer* sesuai rancangan yang akan dibuat. Pembuatan *bavel* untuk pengelasan dan *chamfer* dilakukan dengan menggunakan mesin *plasma cutting* seperti pada Gambar III.4.



Gambar III.4. Pembentukan sudut material (*chamfered*) dengan *plasma cutting*.

Material yang telah dibentuk sudutnya diratakan kembali menggunakan gerinda tangan. Hal ini dikarenakan hasil dari pemotongan *cutting plasma* terlalu kasar dan bergerigi. Dengan diratakan kembali menggunakan gerinda tangan akan menghasilkan permukaan yang baik

untuk dilakukan pengelasan. *Bevel* yang sesuai akan memudahkan ketika proses pengelasan seperti pada Gambar III.5.



Gambar III.5. (a) Material uji T join yang telah dilakukan pembentukan sudut untuk dilas. (b) Material *butt join* yang telah dilakukan pembentukan sudut untuk dilas.



Gambar III.6. Mesin las SMAW.

Pengelasan dilakukan menggunakan mesin las ESAB LHE 300 milik Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan dengan menggunakan arus listrik AC 220 Volt seperti pada Gambar III.6. Arus yang digunakan bervariasi, untuk pengelasan *root* menggunakan arus sebesar 80-90 A agar menghasilkan *full* penetrasi, sedangkan untuk pengelasan *capping* menggunakan arus sebesar 100-120 A. Variasi arus dilakukan dengan memutar tuas yang ada pada alat sesuai yang diinginkan seperti pada Gambar III.7.



Gambar III.7. Arus yang digunakan untuk pengelasan *capping*.

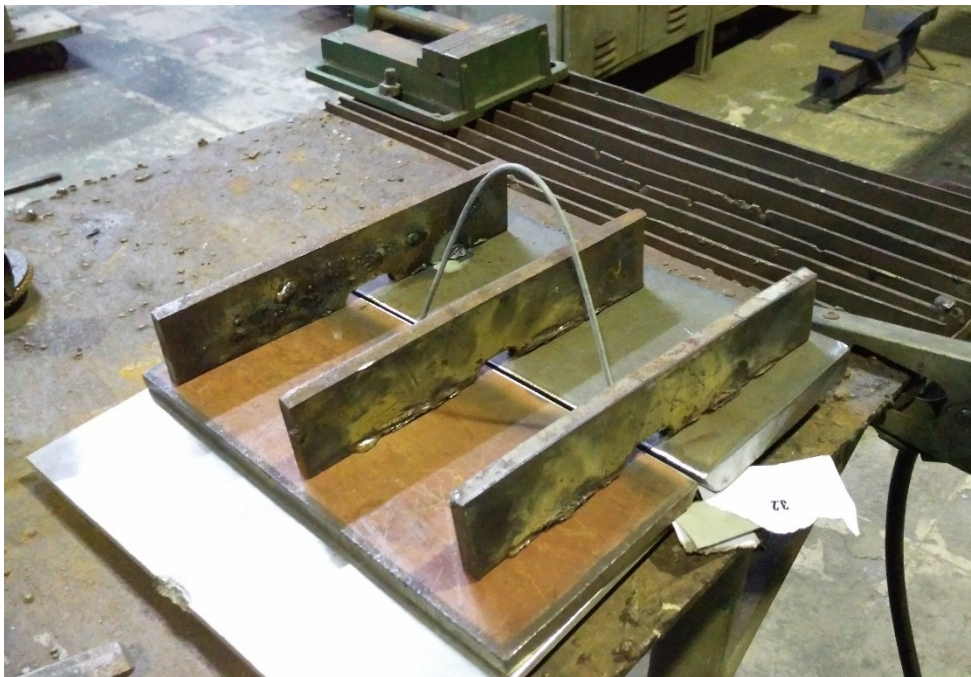


Gambar III.8. Elektroda E7016.

Elektroda yang akan dipakai ialah elektroda E7016 dengan diameter 3.2 mm seperti pada Gambar III.8. Sebelum dilakukan pengelasan elektroda disimpan dalam lemari penyimpanan elektroda dengan suhu 150°C. Elektroda yang akan digunakan untuk pengelasan dibawa menggunakan *portable oven* dan dipanaskan dalam *oven* tersebut dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$. *Portable oven* mendapatkan asupan daya melalui arus listrik. Penggunaan *portable oven* ialah agar elektroda tidak lembab yang dapat mengakibatkan buruknya kondisi elektroda dan cacat pengelasan seperti terlihat pada Gambar III.9.



Gambar III.9. *Portable oven* untuk menjaga suhu elektroda $\pm 100^{\circ}\text{C}$.



Gambar III.10. Pemasangan *stopper*.

Seperti pada Gambar III.10 *stopper* dipasang untuk mencegah pergeseran (*miss alignment*) dan deformasi yang berlebihan pada material, sehingga alur las-lasan dapat memenuhi kriteria yang diinginkan. *Stopper* dilas dengan menggunakan kawat las yang sama dengan pengelasan utama, tetapi hanya sedikit saja yang dilas karena akan dilepas kembali.



Gambar III.11. Proses pengelasan.

Seperti Gambar III.11 pengelasan dilakukan dengan posisi 1G dengan melakukan pengelasan *root* terlebih dahulu yang dilanjutkan dengan pengelasan *layer* hingga *capping*.



Gambar III.12. Material yang telah selesai dilas.

Material yang telah melalui proses pengelasan memiliki tampilan fisik yang buruk dan terdapat banyak *spatter* yang menempel sehingga harus dibersihkan seperti terlihat pada Gambar III.12. Pembersihan dilakukan dengan cara menggunakan gerinda.



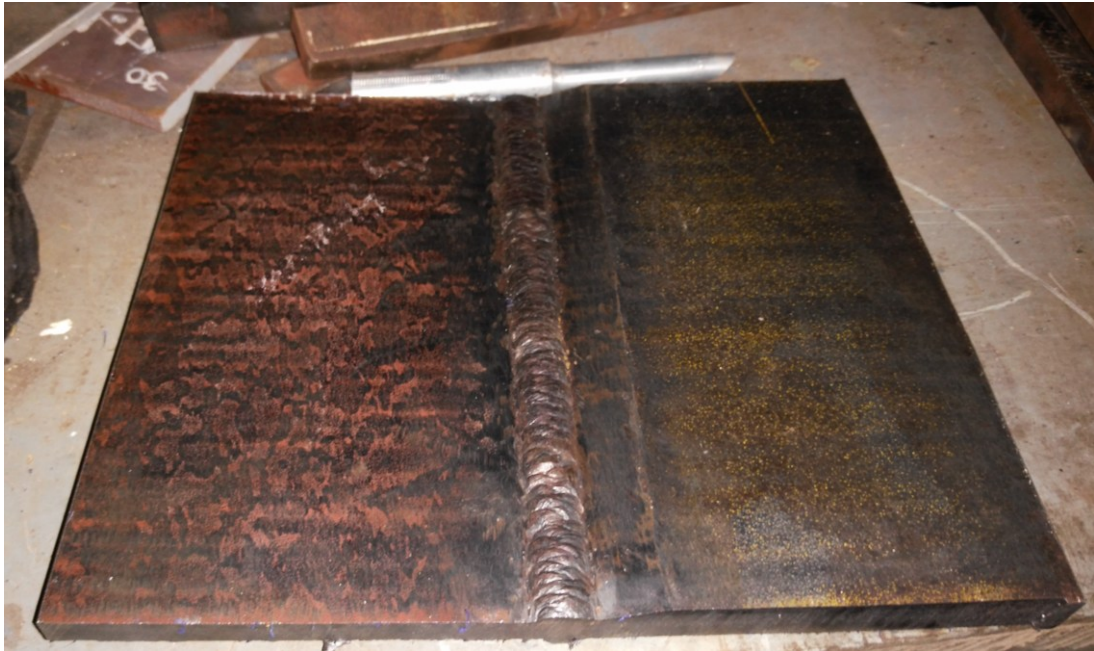
Gambar III.13. Pelepasa *stopper* menggunakan gerinda.

Stopper dilepaskan kembali dari material uji. Hal ini dilakukan ketika material uji yang dilas sudah mencapai suhu ruangan karena material uji yang masih sangat panas akan mengalami deformasi yang berlebihan ketika *stopper* dilepaskan seperti terlihat pada Gambar III.13.



Gambar III.14. Pemotongan material dengan gergaji mesin.

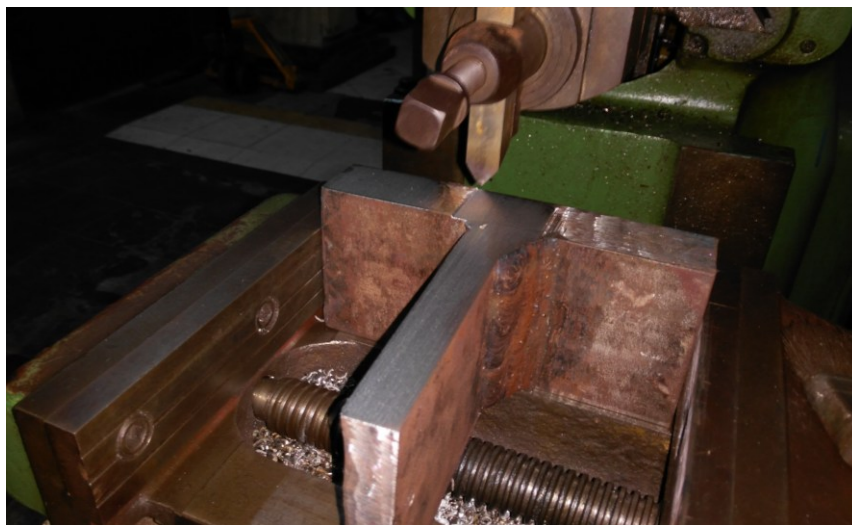
Seperti pada Gambar III.14 material uji yang telah dilas kemudian dipotong dengan ukuran 30 mm pada tiap-tiap ujungnya. Hal ini dikarenakan ujung-ujung material yang dilas sangat rentan terhadap cacat pengelasan. Pada Gambar III.14 adalah contoh hasil dari pemotongan tiap-tiap 30 mm pada sisi-sisi material:



Gambar III.15. Material yang sudah di potong dengan gergaji mesin.

III.3. Perataan permukaan, pembuatan diskontinuitas, dan pelapisan permukaan

Permukaan yang telah dilas dan dibersihkan dari *spatter* masih memiliki permukaan yang belum baik jika akan diuji menggunakan pengujian ultrasonik. Sebagai solusi, material diratakan kembali dengan mesin sekrap (*shaping machine*) hal ini seperti yang terlihat pada Gambar III.16. Penggunaan *shapping machine* relatif lama karena ketelitiannya tinggi yang pergeserannya mencapai kurang dari 1 mm.

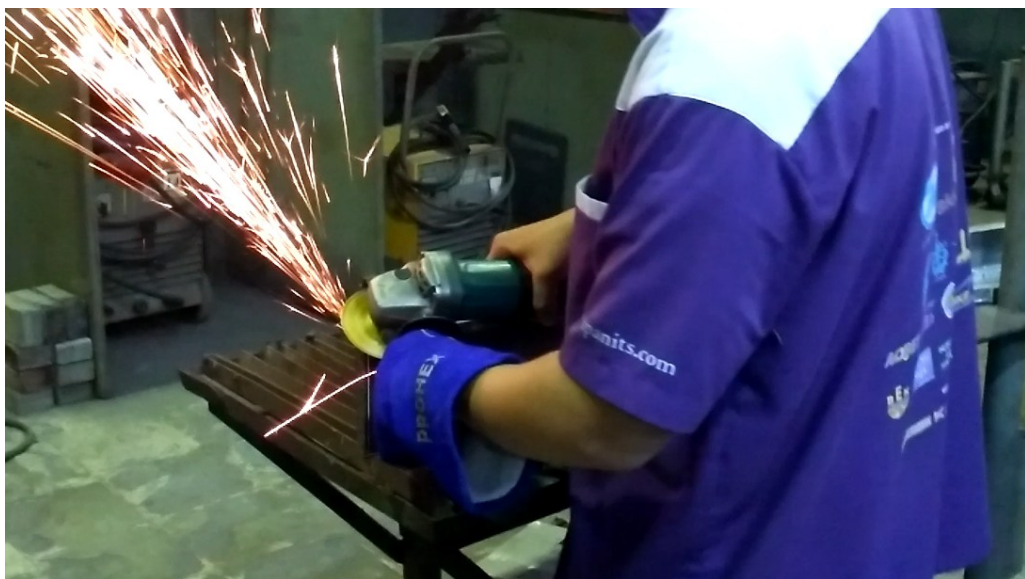


Gambar III.16. Perataan sisi material dengan mesin sekrap (*shaping machine*).



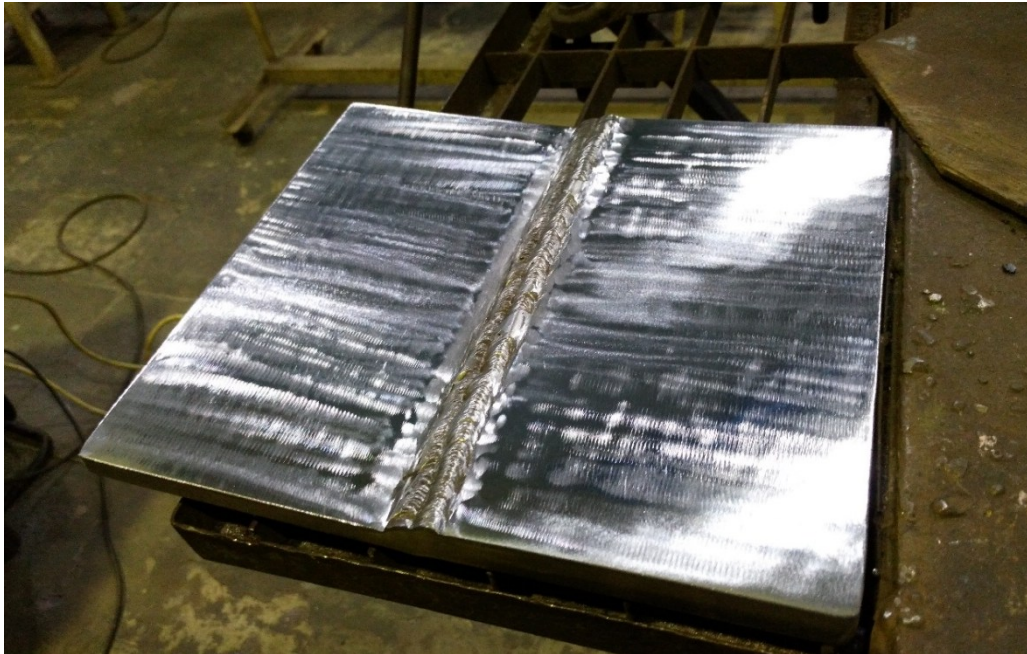
Gambar III.17. Material yang sudah diratakan dengan mesin sekrap (*shaping machine*).

Seperti terlihat pada Gambar III.17, *shaping machine* dapat membuat material lebih baik, pengurangan terkecil dari material yang dapat dilakukan mesin ini adalah 1 mm. Pada sisi yang permukaannya baik akan memudahkan untuk melakukan pembuatan diskontinuitas dan melakukan *scanning* pada material.



Gambar III.18. Material dirapikan menggunakan gerinda.

Shaping Machine dengan mata pisau yang tumpul menghasilkan permukaan yang tidak baik (tidak presisi), sehingga jika dilakukan scanning akan berpengaruh pada borosnya kuplan yang digunakan dan hasil yang kurang teliti. Setelah material dibuat ukurannya sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan penghalusan lebih lanjut dengan mesin gerinda seperti pada Gambar III.18.



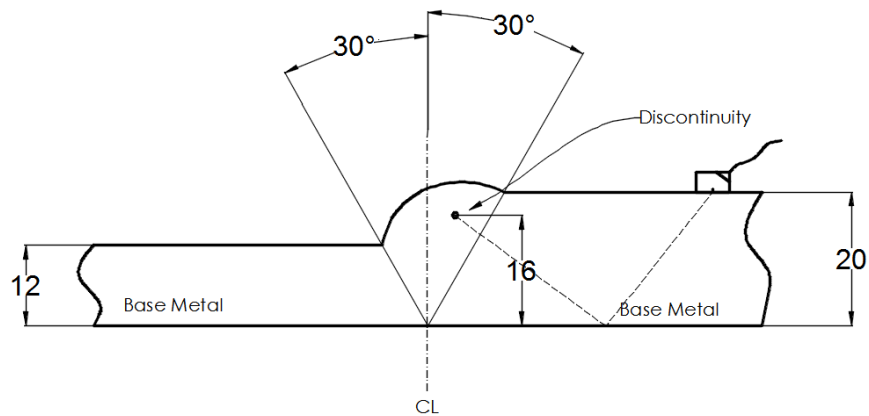
Gambar III.19. Salah satu material yang sudah diratakan.

Permukaan yang baik seperti Gambar III.19 memiliki ketelitian yang tinggi untuk dilakukan *scanning* dengan metode pengujian ultrasonik, sehingga waktu yang digunakan lebih efisien dan tidak memakai kuplan yang banyak.

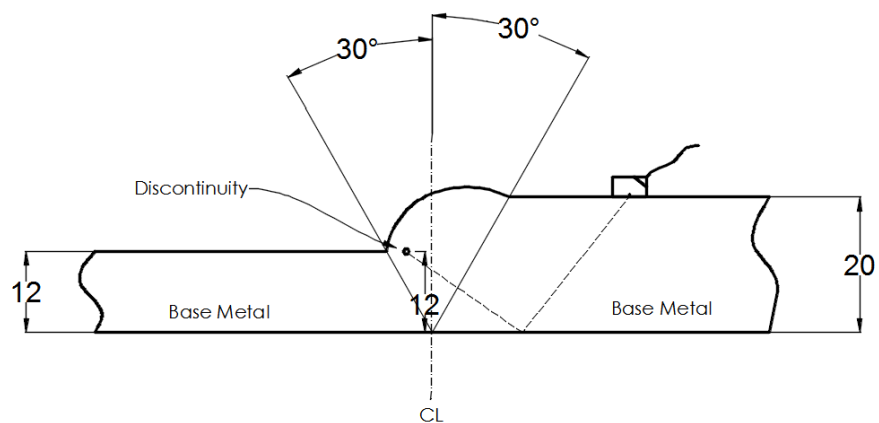
III.4. Pembuatan *artificial defect* (cacat buatan)

Gambar III.20 sampai dengan Gambar III.27 memperlihatkan sketsa sambungan pengelasan yang akan digunakan pada tugas akhir ini.

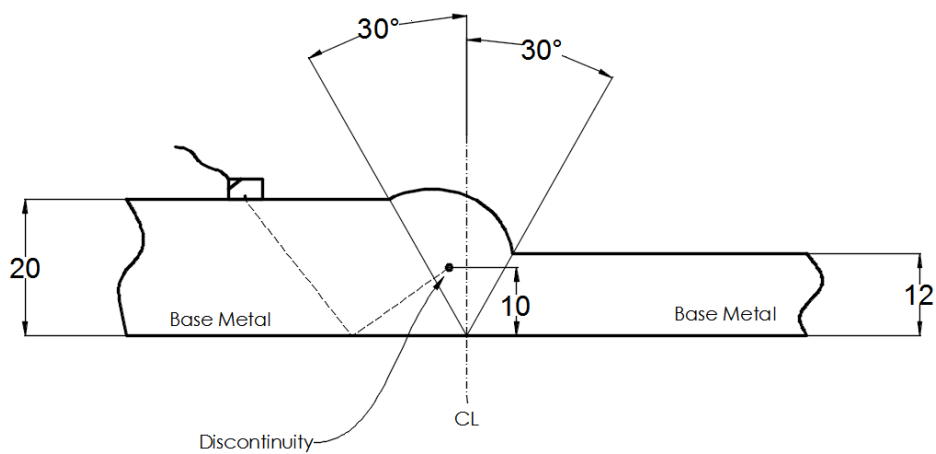
Material 1 :



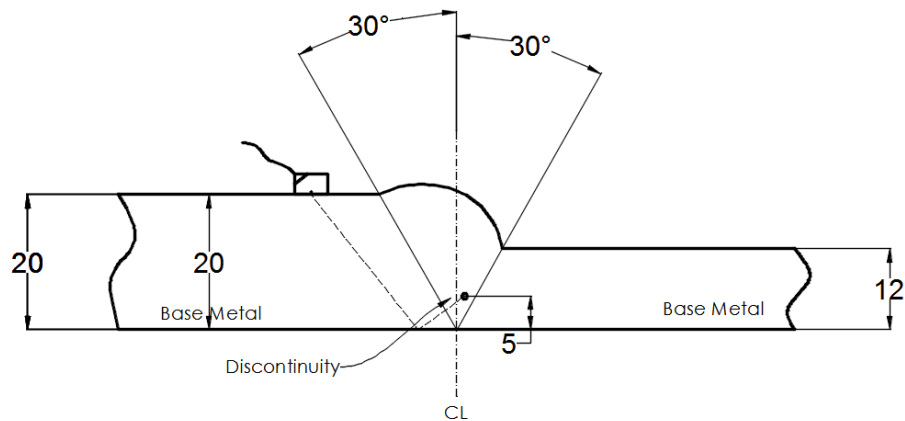
Gambar III.20. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 4 mm dari *base metal* yang lebih tebal.



Gambar III.21. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 8 mm dari *base metal* yang lebih tebal.

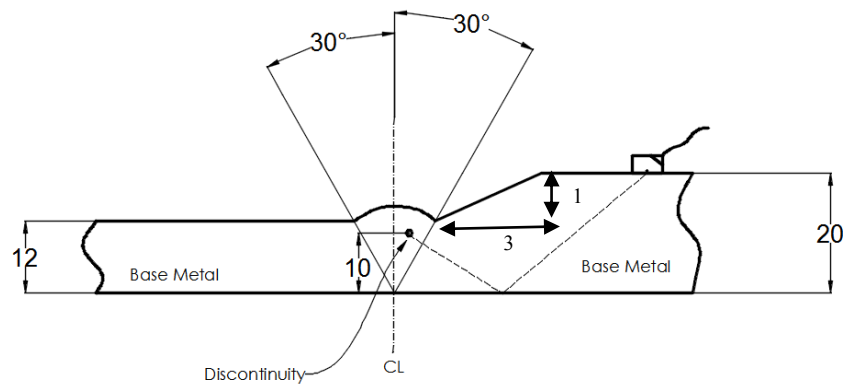


Gambar III.22. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari *base metal* yang lebih tebal.

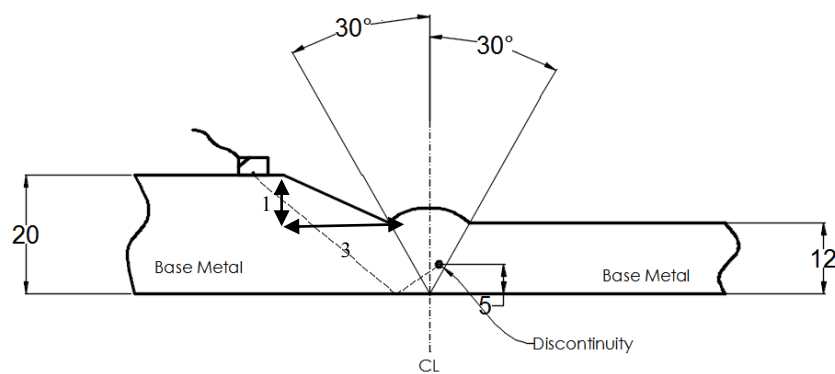


Gambar III.23. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 15 mm dari *base metal* yang lebih tebal.

Material 2 :

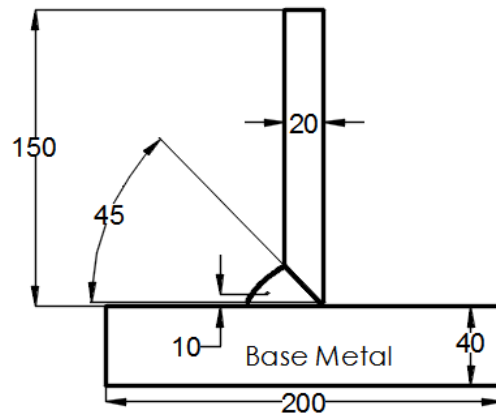


Gambar III.24. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari *base metal* yang lebih tebal.

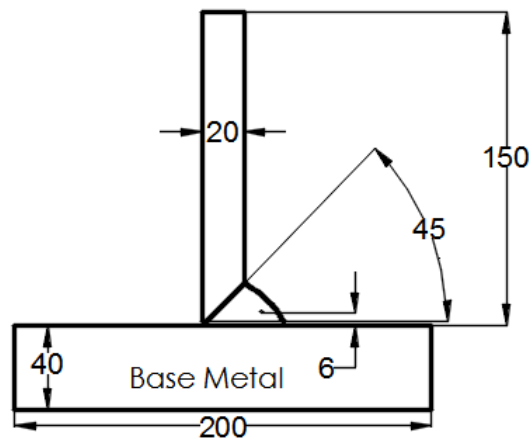


Gambar III. 25. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 15 mm dari *base* yang lebih tebal.

Material 3 :

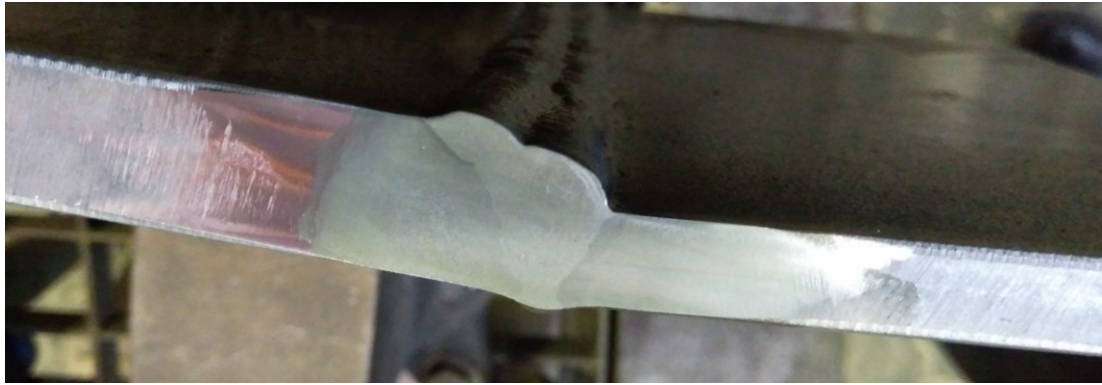


Gambar III.26. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 10 mm dari *base metal* yang lebih tebal.



Gambar III.27. Rancangan *test piece* dengan kedalaman diskontinuitas 6 mm dari *base metal* yang lebih tebal.

Untuk melakukan pembuatan cacat buatan, hal pertama yang dilakukan ialah melakukan makroetsa permukaan. Makroetsa material logam merupakan suatu perlakuan yang akan memperlihatkan batas las-lasan dengan material induk serta *layer-layer* pengelasan. Perlakuan tersebut yaitu dengan mengoleskan larutan ke permukaan material, larutan makroetsa yang digunakan terdiri dari asam nitrit (HNO_3) 4% dan alkohol 96% dengan perbandingan untuk pencampuran larutan asam nitrit dan alkohol 1:9. Gambar III.28 sampai Gambar III.31 adalah gambar dari material yang telah dioleskan larutan untuk makroetsa :



Gambar III.28. *Macroetch* sebelum menentukan lokasi diskontinuitas.



Gambar III.29. Penentuan lokasi diskontinuitas.



Gambar III.30. Lokasi yang akan dibor.

Lokasi pembuatan *artificial defect* terlebih dahulu dilakukan dengan logam yang ujungnya tajam (seperti paku) yaitu dengan cara mengetukkan logam tersebut dengan palu sehingga terdapat sedikit cekungan. Cekungan ini berfungsi agar mata bor yang sedang bekerja tidak tergelincir. Untuk memperjelas batas-batas bagian yang akan dibor dilakukan penambahan dengan tinta spidol. Berikut adalah gambar material yang telah diberi tinta spidol:



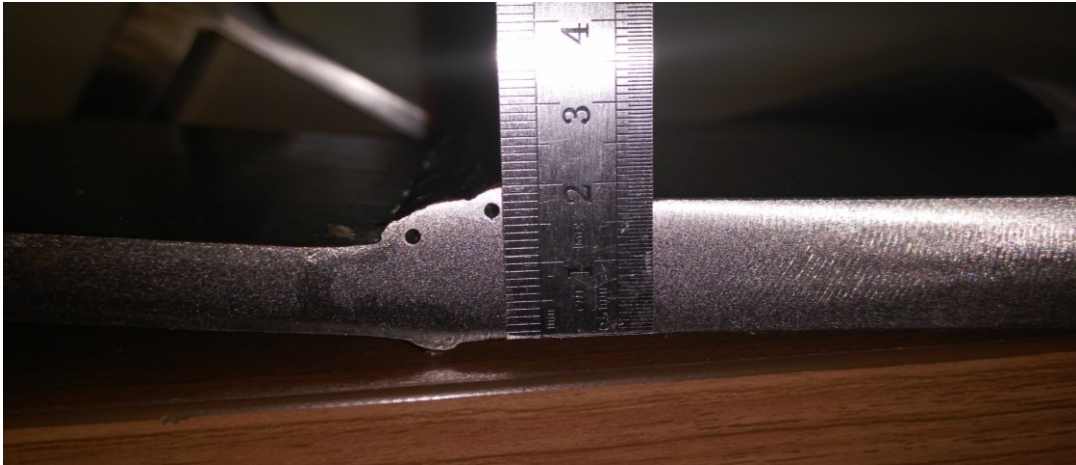
Gambar III.31. Pemberian tinta spidol di daerah yang akan dibor.

Setelah dilakukan penentuan lokasi, selanjtnya dilakukan pengeboran dengan mesin bor di laboratorium konstruksi dan kekuatan FTK-ITS seperti pada Gambar III.23. Mata bor yang digunakan berdiameter 2mm dan kedalaman *artificial defect* yaitu 15mm.

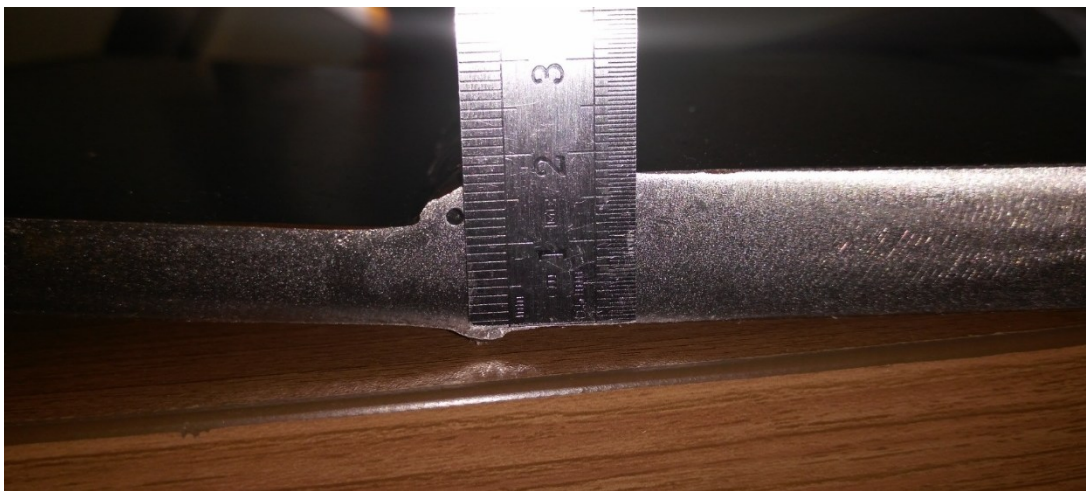


Gambar III.32. Mesin bor yang digunakan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan ITS.

Pengeboran dilakukan dengan mengayunkan tuas yang ada di mesin bor, hal ini dilakukan dengan perlahan-lahan. Setiap tekanan yang kita berikan untuk mengayunkan tuas, memiliki ukuran sendiri yaitu seberapa dalam kita telah menekan tuas tersebut dalam satuan mm. Pada Gambar III.33 sampai dengan Gambar III.38 adalah hasil dari pembuatan *artificial defect* :



Gambar III.33. Diskontinuitas dengan jarak 16 mm dari bawah material.



Gambar III.34. Diskontinuitas dengan jarak 12 mm dari bawah material.



Gambar III.35. Diskontinuitas dengan jarak 10 mm dari bawah material.



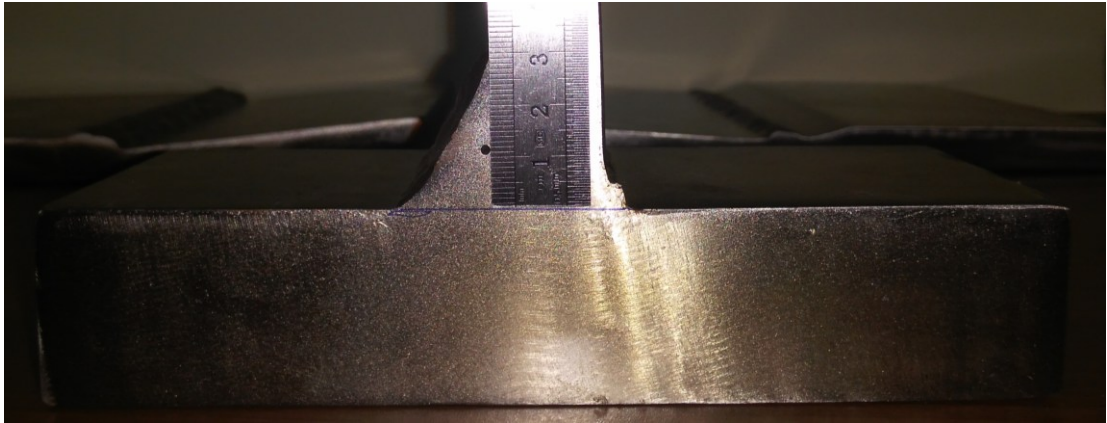
Gambar III.36. Diskontinuitas dengan jarak 5 mm dari bawah material.



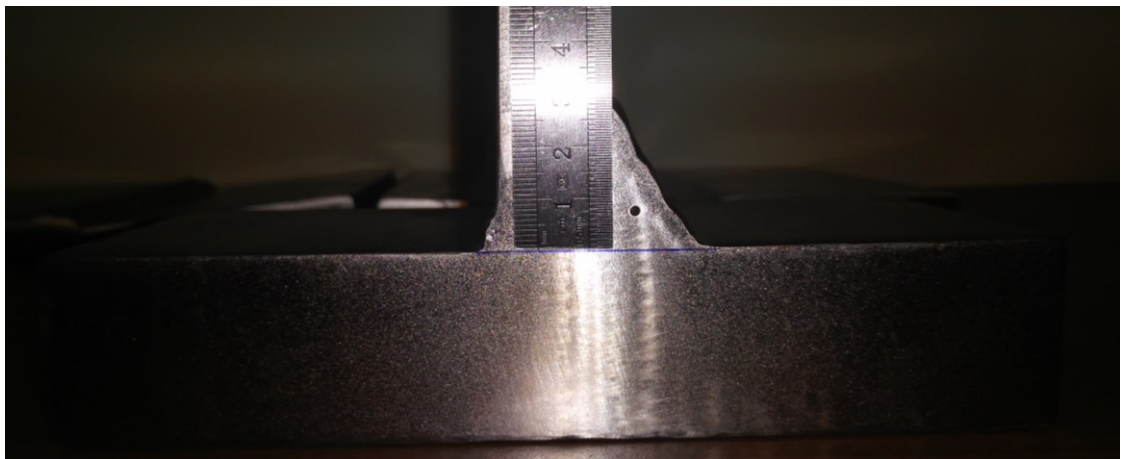
Gambar III.37. Diskontinuitas dengan jarak 10 mm dari bawah material (*chamfered material*).



Gambar III.38. Diskontinuitas dengan jarak 5 mm dari bawah material (*chamfered material*).



Gambar III.39. Diskontinuitas dengan jarak 50 mm dari bawah material (*t joint*).



Gambar III.40. Diskontinuitas dengan jarak 46mm dari bawah material (*t joint*).

Material yang telah jadi kemudian dilapisi dengan menggunakan pelapis transparan. Hal ini bertujuan untuk melindungi dan mempertahankan permukaan dari korosi. Untuk merk dan jenis pelapisan menggunakan *pylox nippon paint (clear)* seperti yang terlihat pada Gambar III.39 dan Gambar III.40.

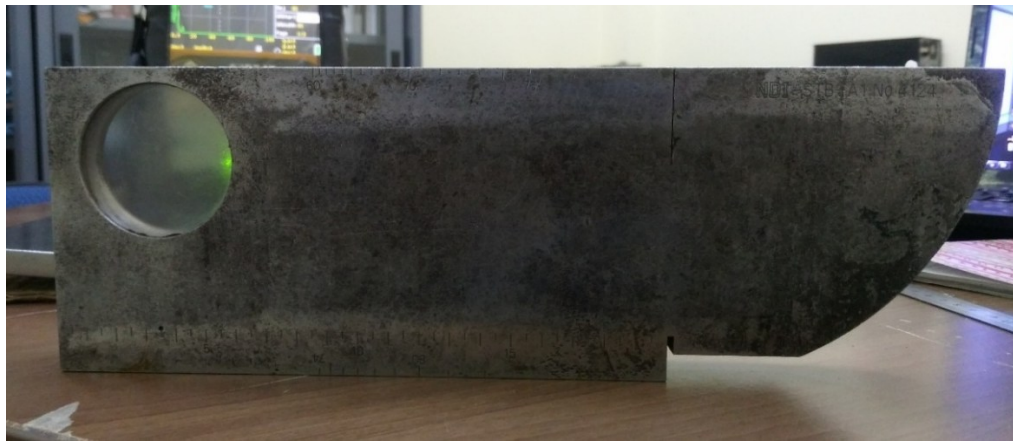


Gambar III.41. Cat transparan (*clear*) yang digunakan untuk pelapisan material.

III.5. Persiapan pengujian

Persiapan pengujian yang pertama adalah menyiapkan alat-alat pengujian, diantaranya: *unit display* SIUI, adaptor, *probe*, blok kalibrasi, *coaxial cable*, alat ukur (penggaris), kuplan, dan tisu pembersih.

Pada Gambar III.42 dan Gambar III.43 terdapat dua blok kalibrasi, blok kalibrasi V1 dan blok kalibrasi V2. Blok kalibrasi V1 memiliki banyak titik untuk melakukan kalibrasi / lebih banyak variasi yang dapat dilakukan, tetapi tidak mudah untuk dibawa-bawa dibandingkan dengan blok kalibrasi V2.

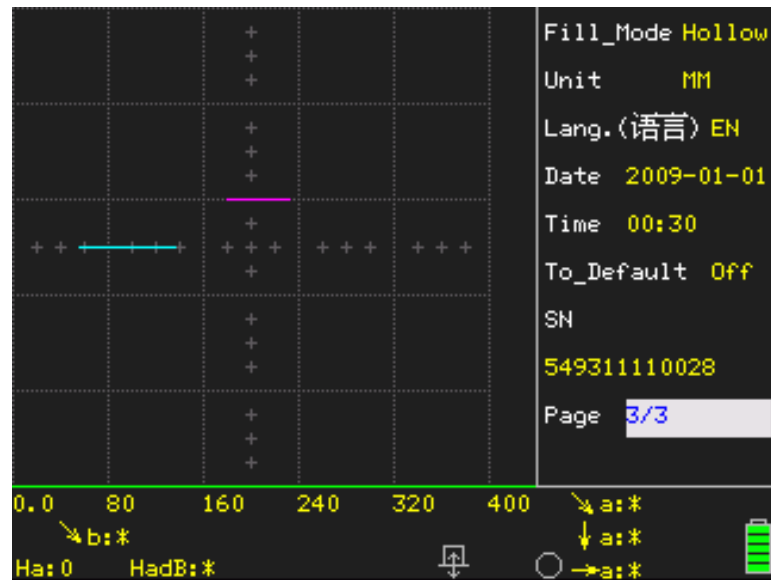


Gambar III.42. Blok kalibrasi V1.



Gambar III.43. Blok kalibrasi V2.

Unit Display yang digunakan ialah *unit display* bermerk SIUI CTS-9005 dengan *serial number* : 549311110028 seperti terlihat pada Gambar III.44 dan Gambar III.45. *Unit display* berfungsi untuk menampilkan pulsa-pulsa indikasi yang dideteksi oleh *probe*, terdapat beragam *unit display* mulai dari model, bentuk, dan merk yang ada di pasaran.



Gambar III.44. Serial number pada layar.



Gambar III.45. Serial number pada unit display.

Pengecekan *serial number* sangat berguna untuk mengetahui bahwa alat ini benar-benar sesuai dan memiliki identitas di perusahaan pembuat. *Serial number* yang cocok antara yang ditampilkan *software unit display* dan yang tertera pada bagian belakang *unit display* adalah bukti bahwa alat ini valid dan memiliki identitas di perusahaan pembuat alat tersebut. Pada Gambar III.46 adalah *unit display* yang digunakan :



Gambar III.46. Penampakan fisik unit display SIUI CTS-9005.

Unit display SIUI ini membutuhkan energi listrik untuk menyalakannya, sumber listrik dapat menggunakan adalah listrik AC yang dikonversi melalui adaptor atau menggunakan sumber listrik dari baterai seperti yang terlihat pada Gambar III.47.



Gambar III.47. Adaptor.

Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan lain. Peralatan pertama adalah kabel *coaxial* yaitu media penghantar listrik dari *unit display* ke *probe* seperti yang terlihat pada Gambar III.48.



Gambar III.48. Kabel *coaxial*.

Kabel yang menghantarkan arus listrik yang baik akan mendapatkan respon yang baik juga dari *probe*, hal ini dapat dibuktikan dengan pulsa-pulsa yang tampil pada *unit display*. *Probe* yang digunakan pada tugas akhir ini bervariasi. Pada Gambar III.49 sampai dengan Gambar III.52 adalah gambar dari *probe-probe* yang digunakan selama pengujian material :



Gambar III.49. Probe Normal.

Probe normal sangat efektif untuk digunakan pada pemeriksaan yang lokasi permukaan *scanning*nya tegak lurus dengan daerah yang akan diinspeksi contohnya pada pengecekan cacat laminasi material. Pada daerah yang permukaannya *scanning*nya tidak tegak lurus dengan daerah yang akan diinspeksi maka *probe* sudutlah yang lebih efektif untuk melakukan *scanning*. *Probe* sudut yang digunakan pada tugas akhir ini terdapat tiga macam, yaitu *probe* sudut 45° , 60° , dan 70° . Penentuan *probe* yang digunakan tergantung dari situasi yang memungkinkan dilapangan. Berikut adalah gambar dari *probe* sudut yang digunakan :



Gambar III.50. Probe sudut 45° .



Gambar III.51. Probe sudut 60° .



Gambar III.52. Probe sudut 70° .

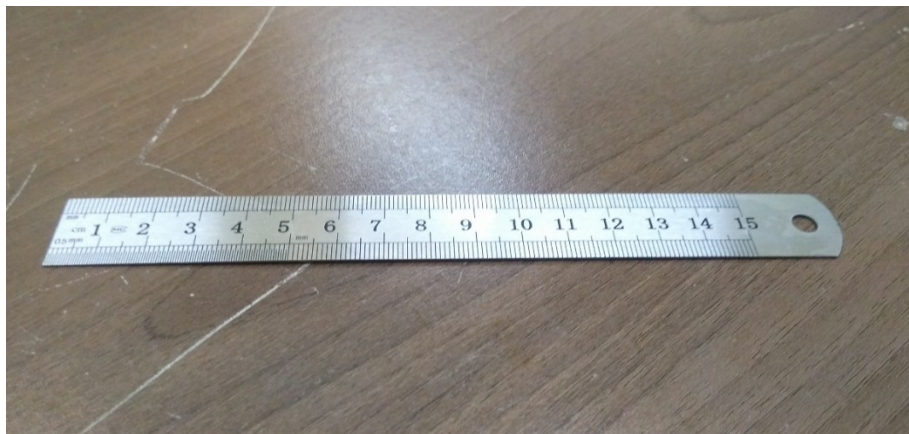
Pada proses *scanning* terdapat *gap* atau celah antara *probe* dan material yang diuji, sehingga *unit display* tidak dapat menampilkan indikasi pada layar dengan baik. Gelombang ultrasonik akan sangat buruk bila merambat di udara. Hal ini disebabkan perbedaan massa jenis atau *density* yang relatif jauh antara udara dengan sepatu probe maupun material uji sehingga gelombang ultrasonik yang dipancarkan akan diteruskan kemana-mana. Untuk itu diperlukan

sebuah zat yang dapat mencegah hal tersebut terjadi. Zat yang dimaksud adalah kuplan, kuplan yang ada dipasaran dapat bermacam-macam. Pada tugas akhir ini memakai *oil couplant* atau kuplan dari oli pelumas seperti yang terlihat pada Gambar III.53.



Gambar III.53. Kuplan.

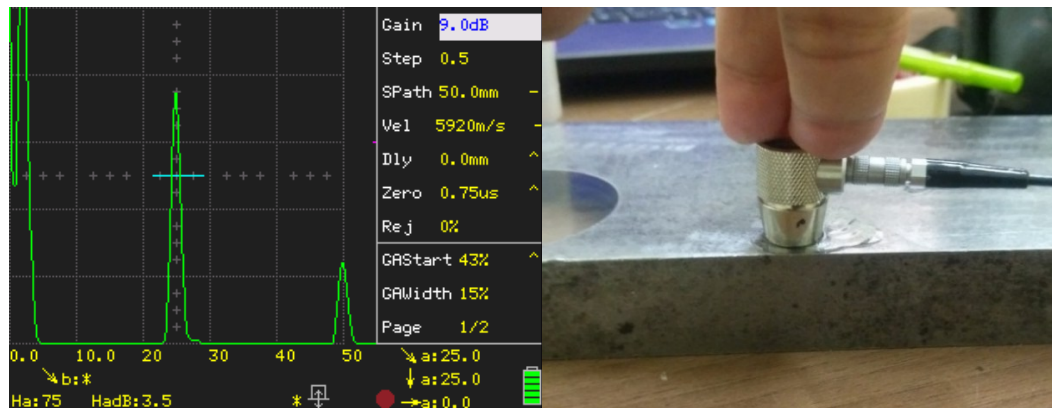
Alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kevalidan jarak yang ditampilkan pada *unit display* dengan kondisi asli menggunakan penggaris. Pada Gambar III.54 adalah penggaris yang digunakan:



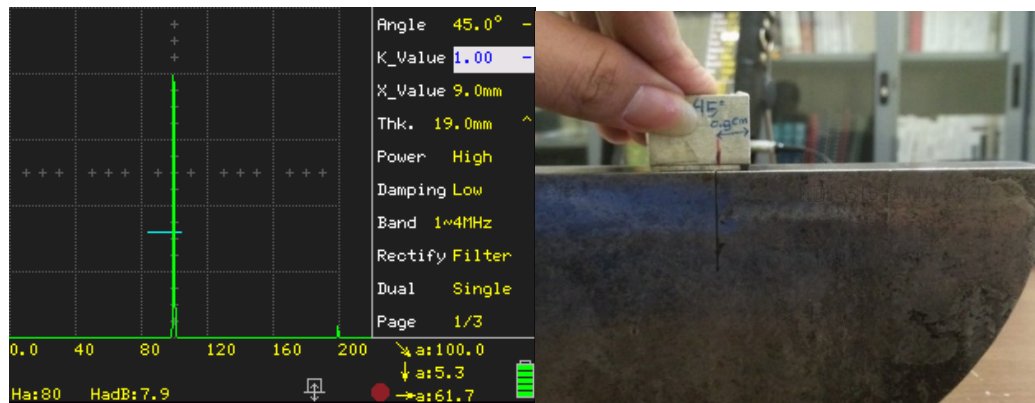
Gambar III.54. Penggaris.

III.6. Pengujian Ultrasonik

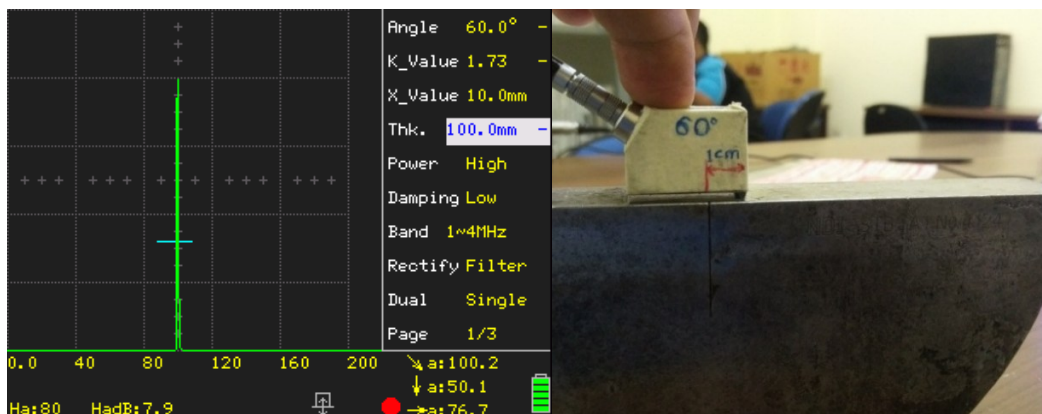
Sebelum melakukan pengujian harus dilakukan kalibrasi alat, agar mendapatkan hasil yang presisi. Kalibrasi yang pertama ialah kalibrasi *probe* normal diikuti dengan *probe* sudut 45°, 60°, dan 70°. Kalibrasi menggunakan blok V1. Pada Gambar III.55 sampai dengan Gambar III.58 adalah proses kalibrasi masing-masing *probe*.



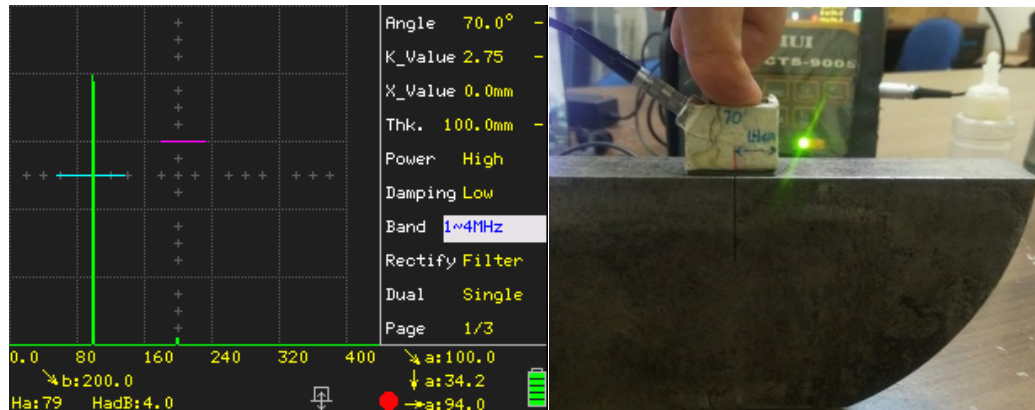
Gambar III.55. Kalibrasi probe normal.



Gambar III.56. Kalibrasi probe sudut 45°



Gambar III.57. Kalibrasi probe sudut 60°



Gambar III.58. Kalibrasi Probe sudut 70°

Pada saat proses kalibrasi selesai, maka selanjutnya ialah pembuatan leg 1 dan leg 2 pada material uji. Pembuatan leg 1 dan leg 2 ini bertujuan untuk mengetahui batasan yang masuk dalam jangkauan gelombang ultrasonik yang dipancarkan seperti pada Gambar III.59 sampai dengan Gambar III.63. Perhitungan leg 1 dan leg 2 menggunakan rumus sebagai berikut :

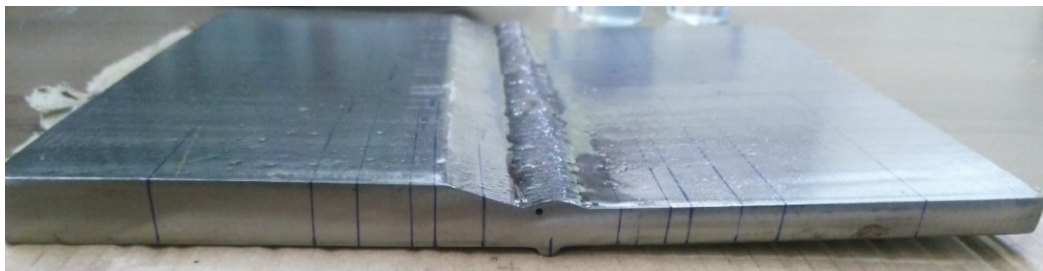
$$\text{Leg 1} = t \times \tan \Theta$$

$$\text{Leg 2} = 2 \times t \times \tan \Theta$$

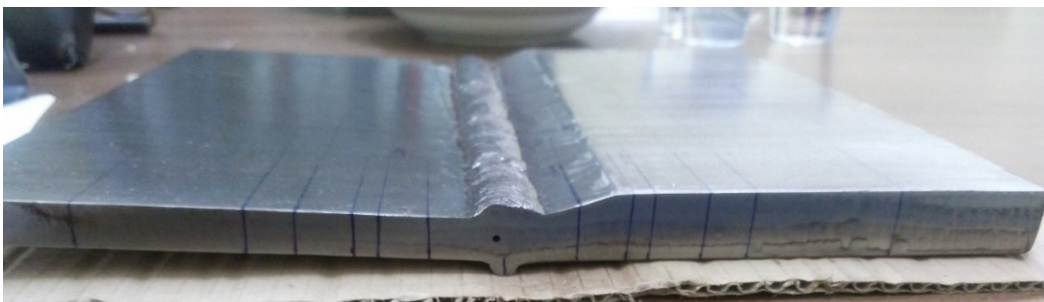
dimana :

t = tebal material (yang lebih tipis jika berbeda ketebalan)

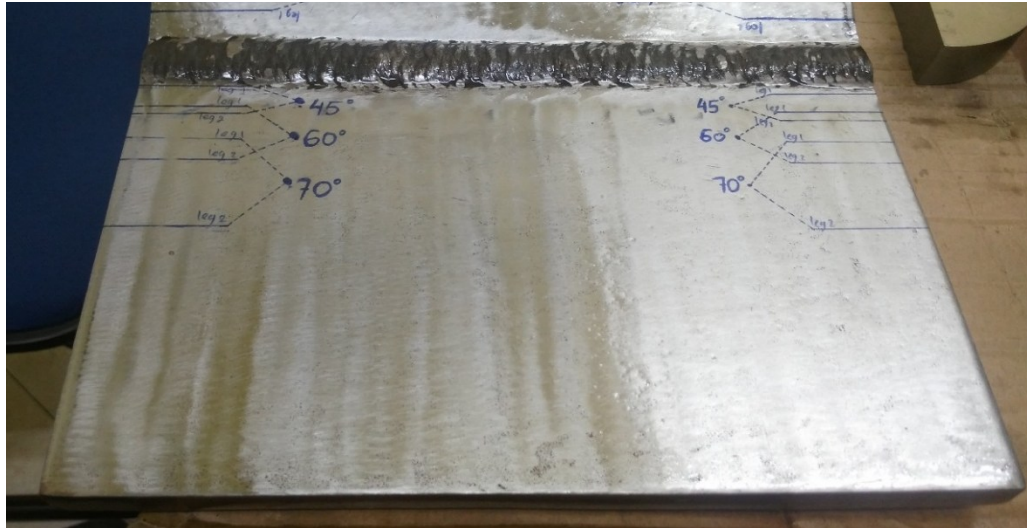
Θ = sudut probe yang dipakai



Gambar III.59. Leg1 dan leg2 ditandai dengan tinta spidol (*chamfered material*).



Gambar III.60. Leg1 dan leg2 ditandai dengan tinta spidol (*chamfered material*)..

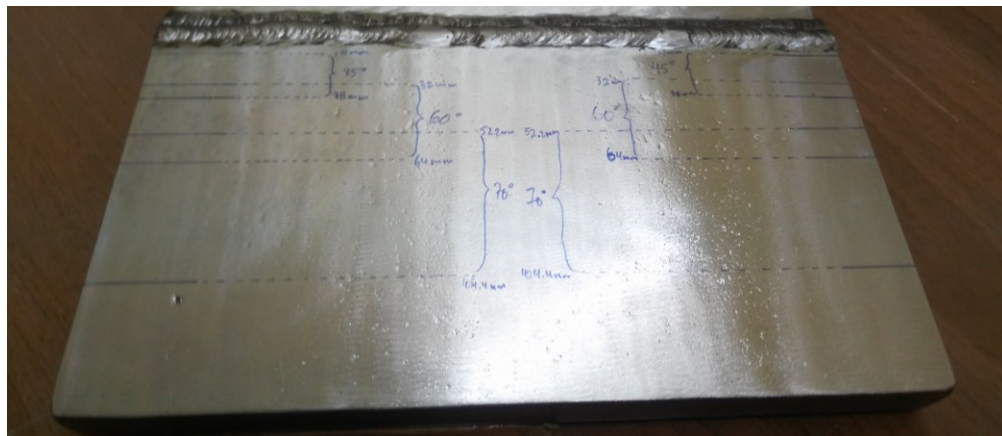


Gambar III.61. Pembuatan leg 1 dan leg 2 tampak atas (material yang lebih tebal).

Untuk pembuatan leg 1 dan leg 2 material yang dilas langsung tanpa *chamfer* dilakukan pada kedua sisi . Berikut hasil pembuatan leg 1 dan leg 2 pada material yang langsung dilas :



Gambar III.62. Pembuatan leg 1 dan leg 2 menggunakan tinta spidol material tanpa *chamfer*.

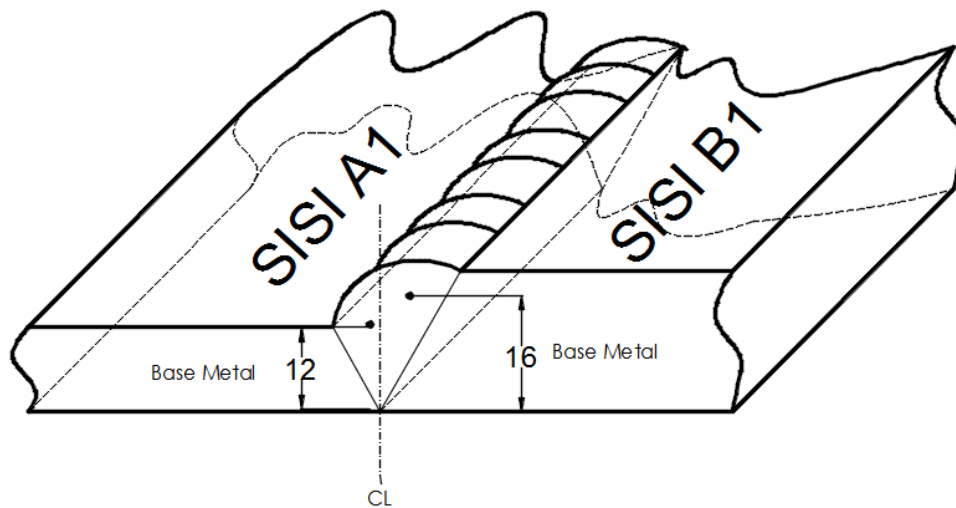


Gambar III.63. Pembuatan leg 1 dan leg 2 tampak atas material tanpa *chamfer*.

Pemeriksaan sambungan T pada material yang diujikan dibutuhkan pembuatan leg 1 dan leg 2 karena dilakukan *scanning* menggunakan probe normal dan *probe* sudut. Daerah yang diinspeksi tegak lurus dengan arah pancaran gelombang ultrasonik menggunakan *probe* normal.

III.7. Penamaan Sisi *Scan Plan*

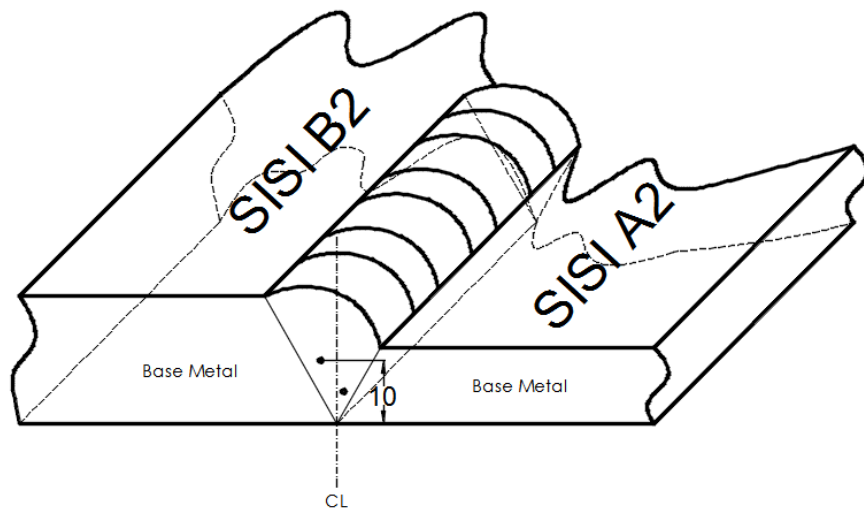
Penamaan sisi *scan plan* disini ialah penamaan sisi material untuk dilakukan pengujian agar mudah dimengerti. Untuk material 1 dan material 2 terdapat empat sisi yang dilakukan mengujian, sedangkan material 3 (*t joint*) terdapat dua sisi pengujian. Gambar III.64 sampai dengan Gambar III.79 adalah sketsa dari sisi pengujian yang dilakukan :



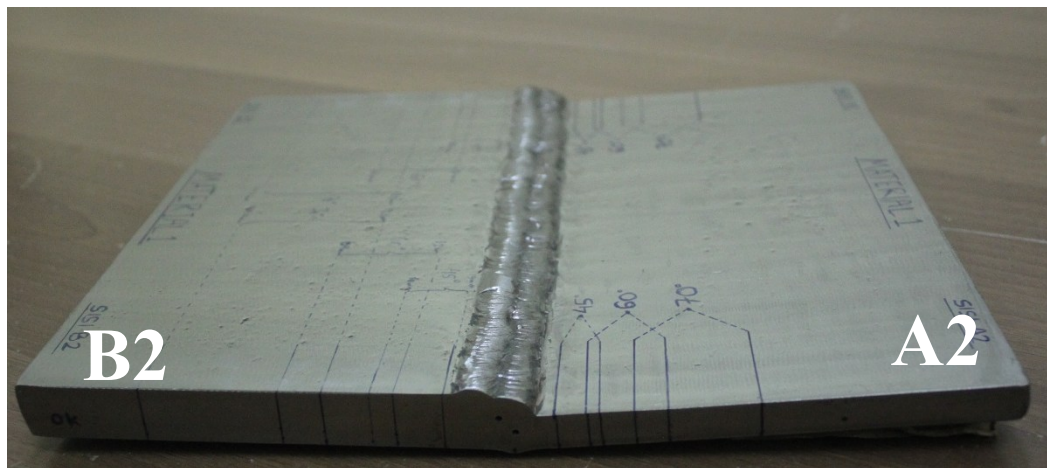
Gambar III.64. Sketsa *scaning* sisi A1 dan B1.



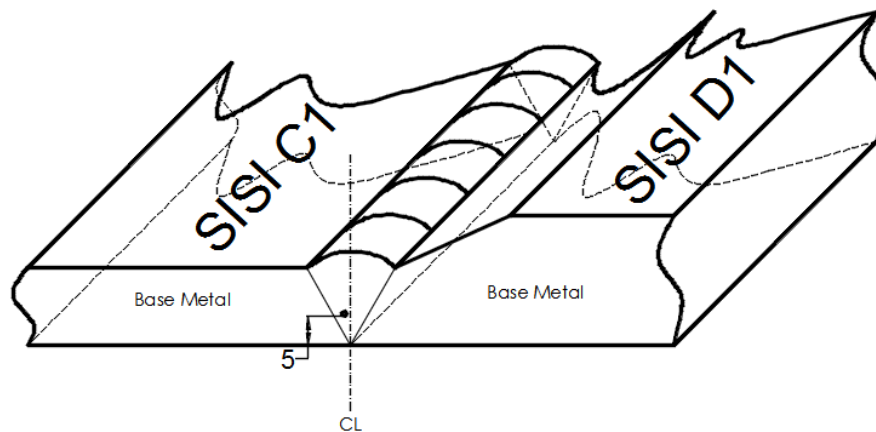
Gambar III.65. Sisi *scaning* A1 dan B1 pada material.



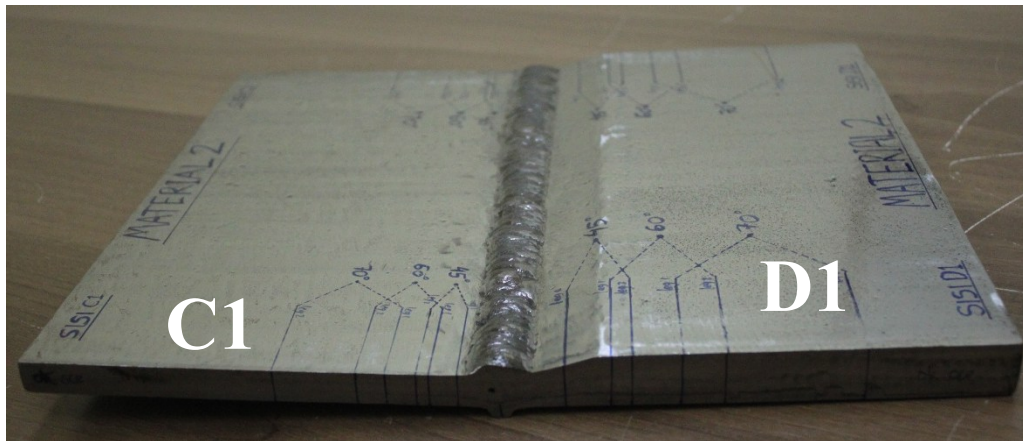
Gambar III.66. Sketsa *scaning* sisi A2 dan B2.



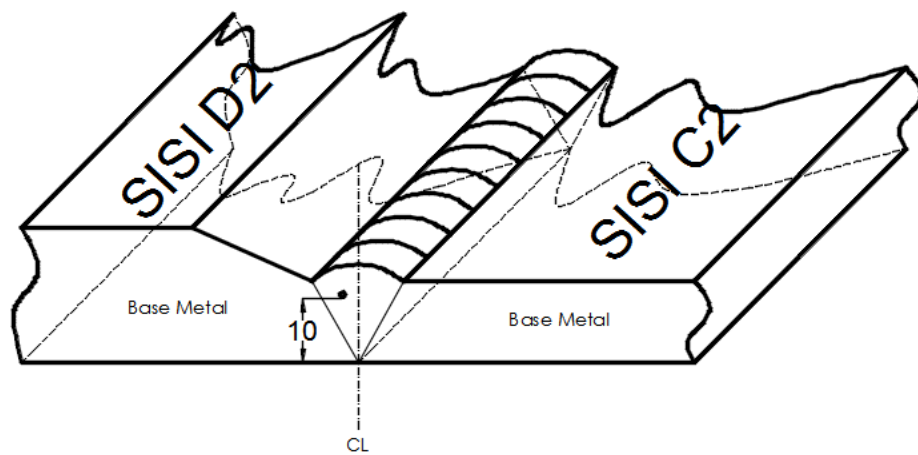
Gambar III.67. Sisi *scaning* A2 dan B2 pada material.



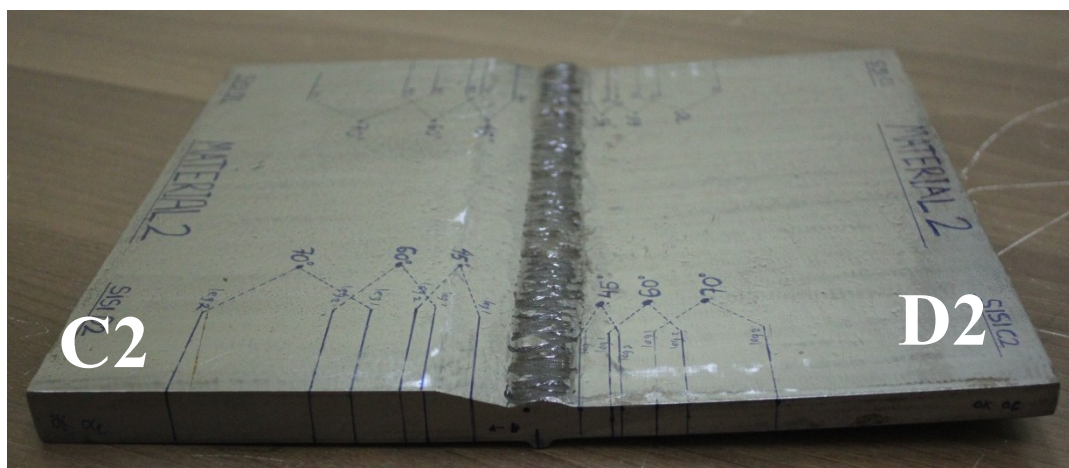
Gambar III.68. Sketsa *scaning* sisi C1 dan D1.



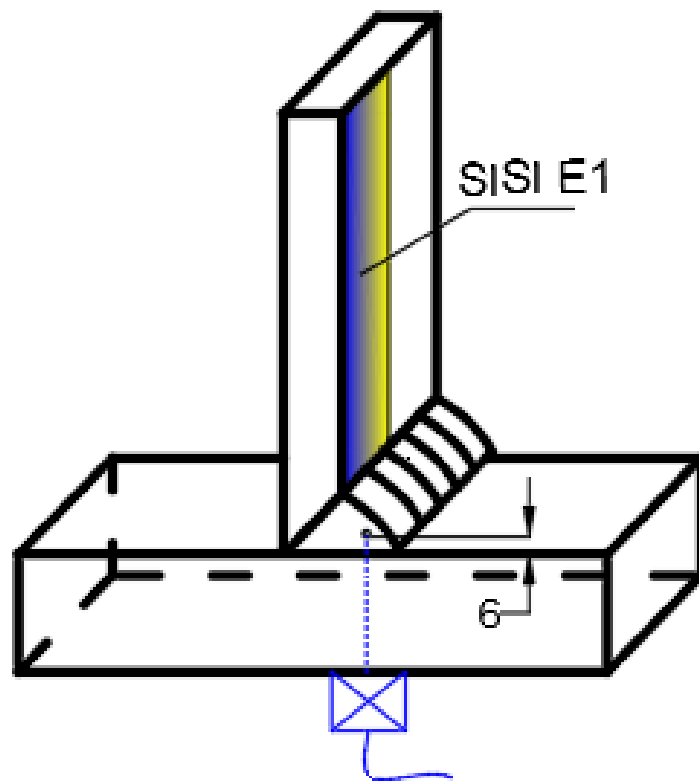
Gambar III.69. Sisi *scanning* C1 dan D1 pada material.



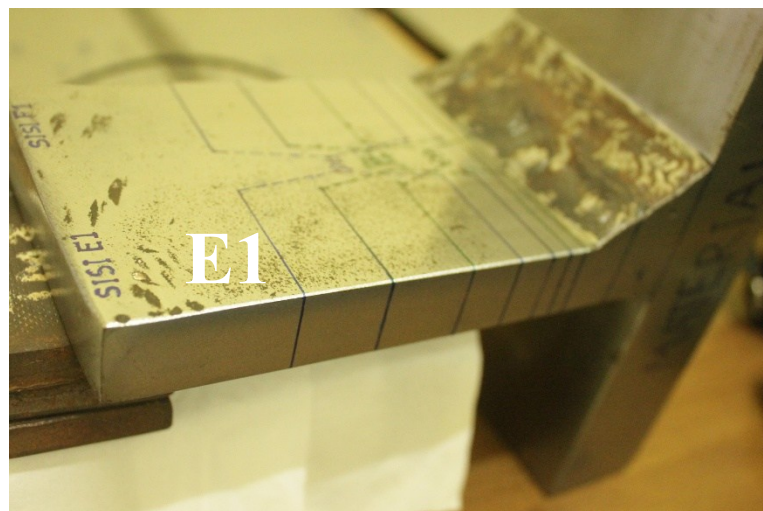
Gambar III.70. Sketsa *scanning* sisi C2 dan D2.



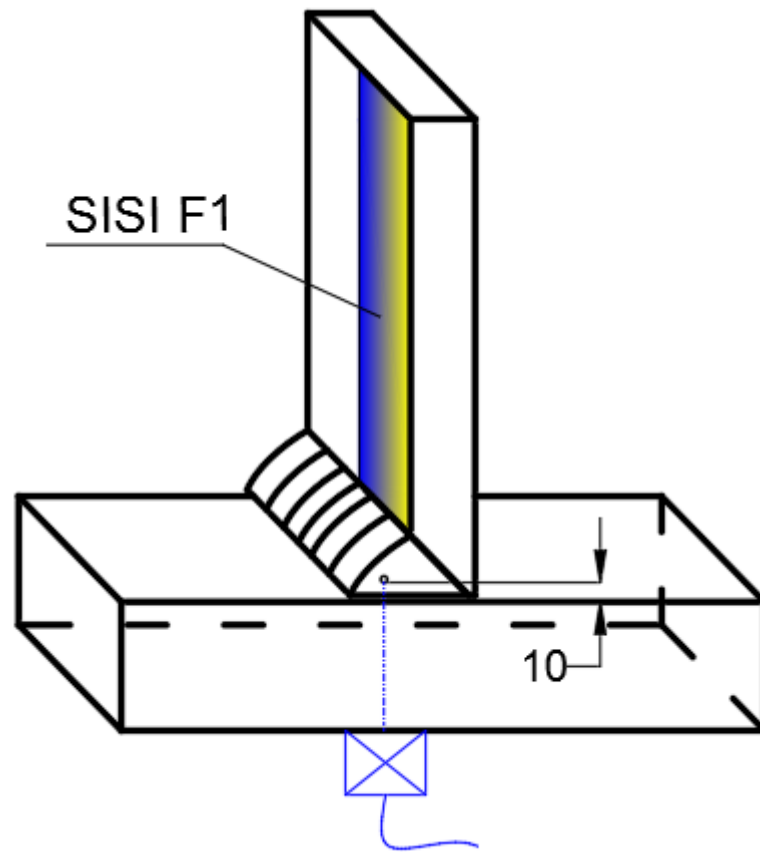
Gambar III.71. Sisi *scanning* C2 dan D2 pada material.



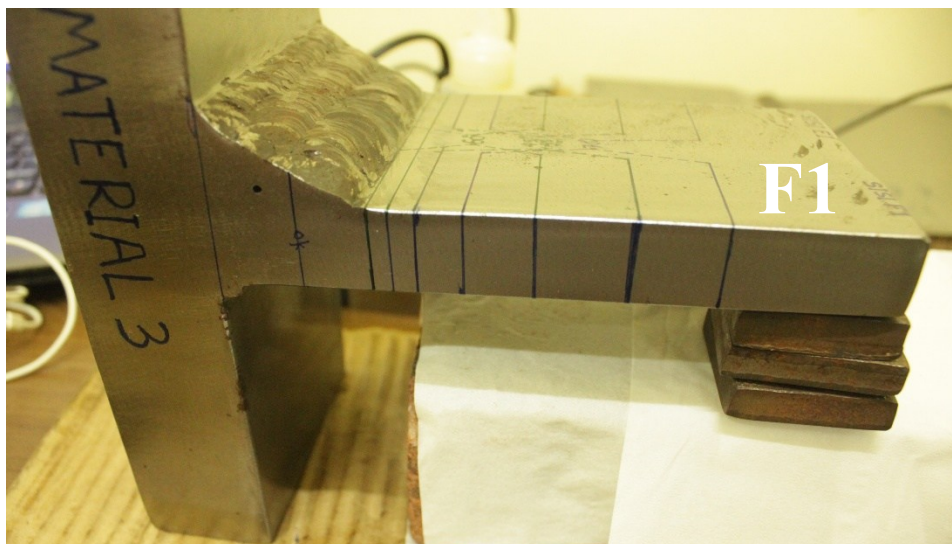
Gambar III.72. Sketsa *scanning* sisi E1 material 3.



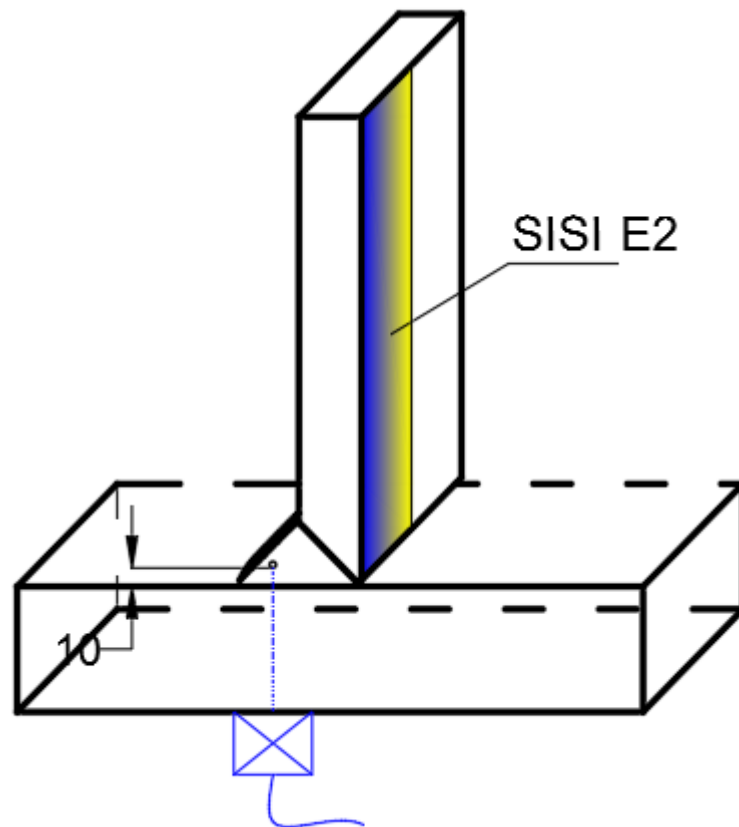
Gambar III.73. Sisi *scanning* E1 material 3.



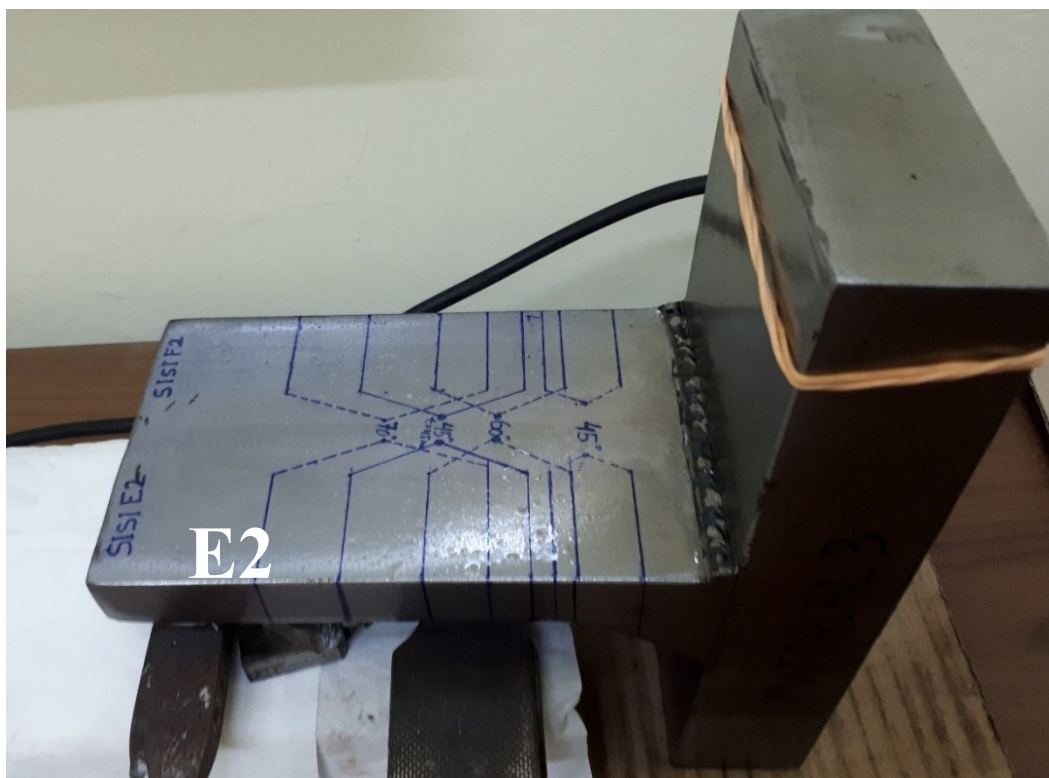
Gambar III.74. Sketsa *scanning* sisi F1 material 3.



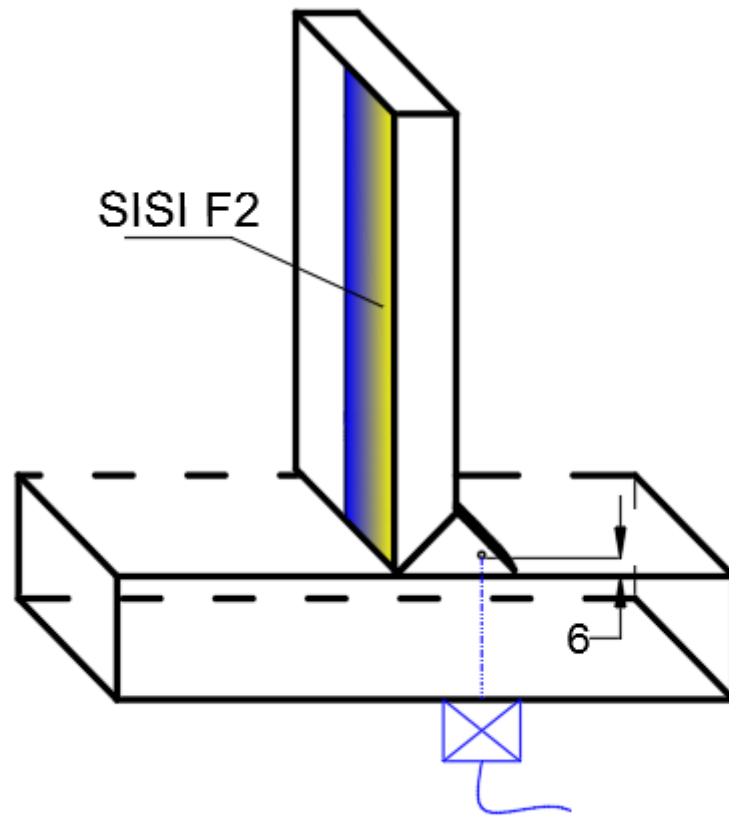
Gambar III.75. Sisi *scanning* F1 material 3.



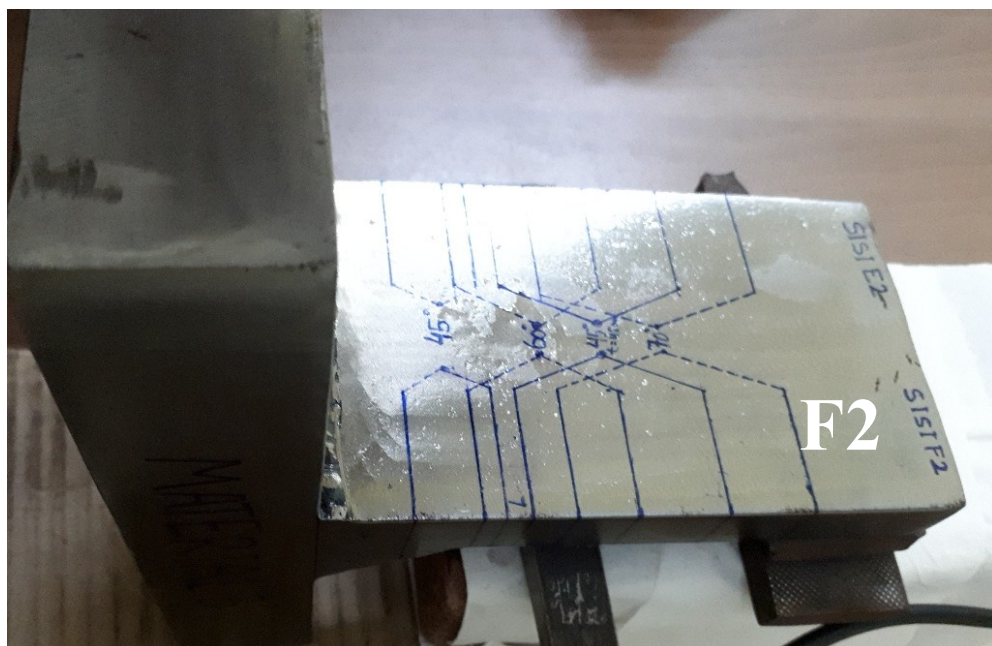
Gambar III.76. Sketsa *scanning* sisi E2 material 3.



Gambar III.77. Sisi *scanning* E2 material 3.

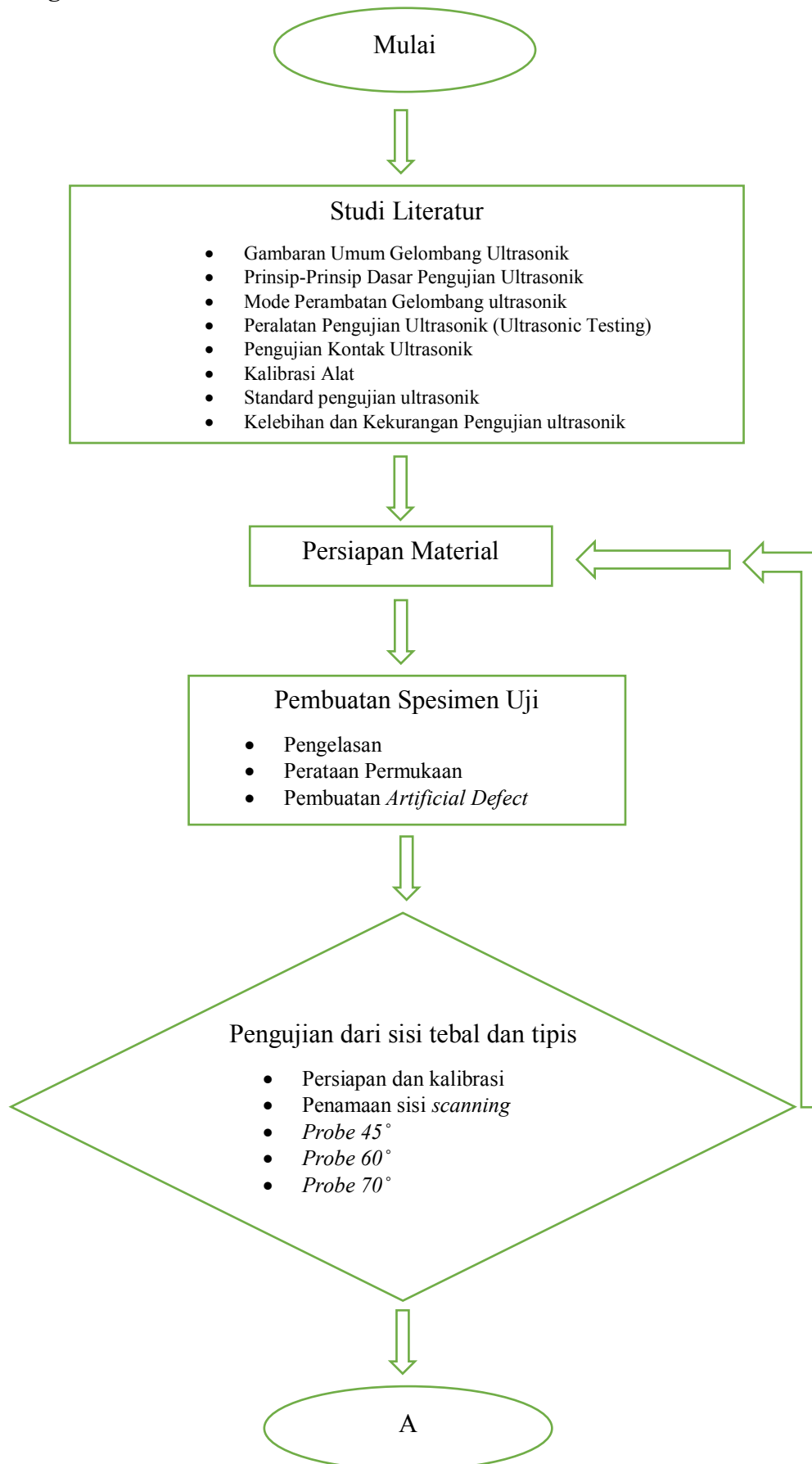


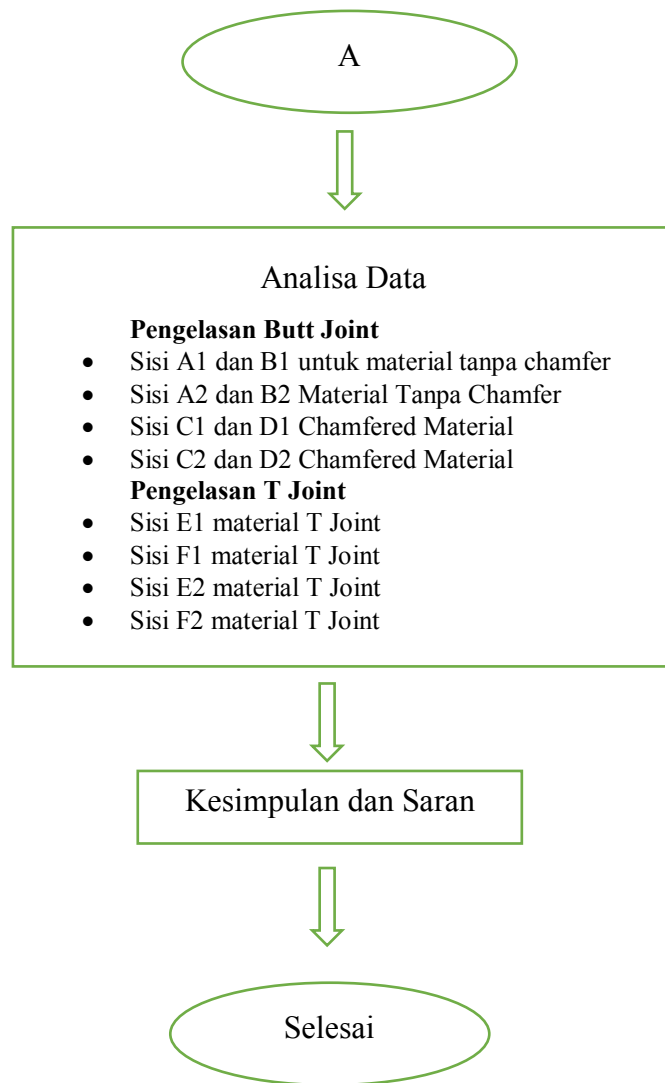
Gambar III.78. Sketsa *scanning* sisi F2 material 3.



Gambar III.79. Sisi *scanning* F2 material 3.

III.8. Diagram Alir





Halaman ini sengaja dikosongkan

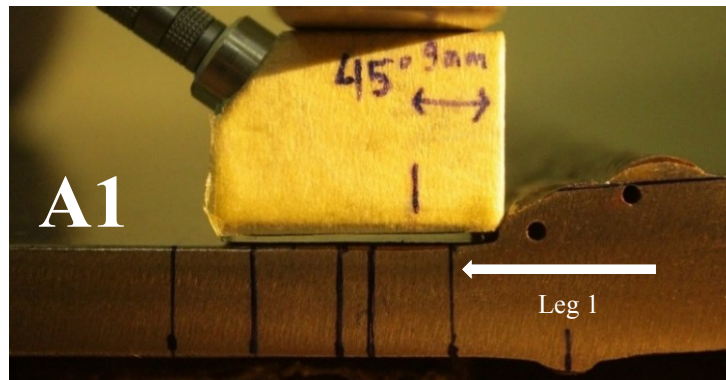
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang analisa dan pembahasan hasil *scanning* material uji. Seluruh rangkaian pengujian dilakukan dengan mengacu pada metodologi penelitian yang dijelaskan pada BAB III.

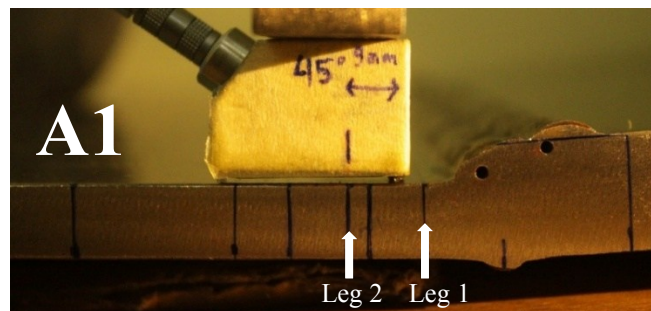
IV.1. Hasil *Scanning* Sisi A1 dan B1 Pada Material Tanpa *Chamfer*

Untuk pengelasan tanpa material *chamfer* terdapat empat diskontinuitas yang akan diuji. Kedalaman diskontinuitas tersebut berturut-turut adalah : 16, 12, 10, dan 5 mm. Pelat yang diuji pada tugas akhir ini memiliki ukuran tebal 19 mm karena pelat 20 mm sulit didapatkan dipasaran.

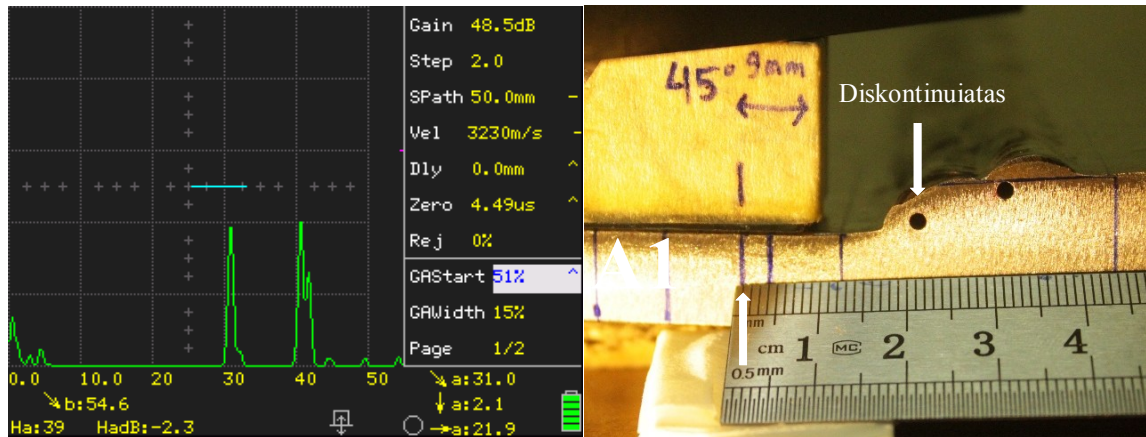
Pada *scan plan* dari sisi A1, tebal material lebih kecil dibandingkan jarak diskontinuitas terhadap sisi bawah material. Oleh karena itu pengujian tetap dilakukan dengan memasukkan tebal material 12 mm pada alat SIUI untuk mengetahui apakah alat ini masih valid atau tidak untuk menjangkau diskontinuitas tersebut. Berikut hasil *scan probe* sudut 45° pada sisi A1 :



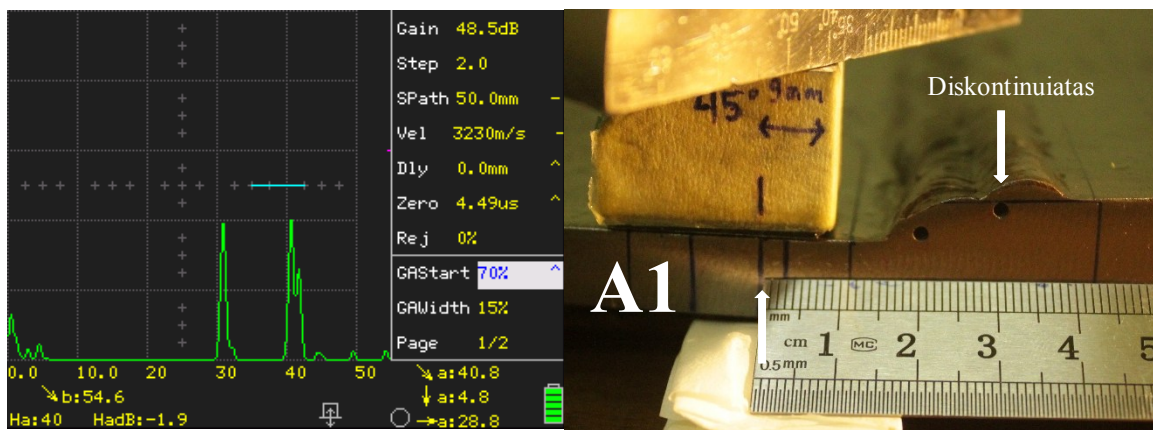
Gambar IV.1. Probe sudut 45° tidak dapat menjangkau leg 1.



Gambar IV.2. *Scanning* pada leg 2.



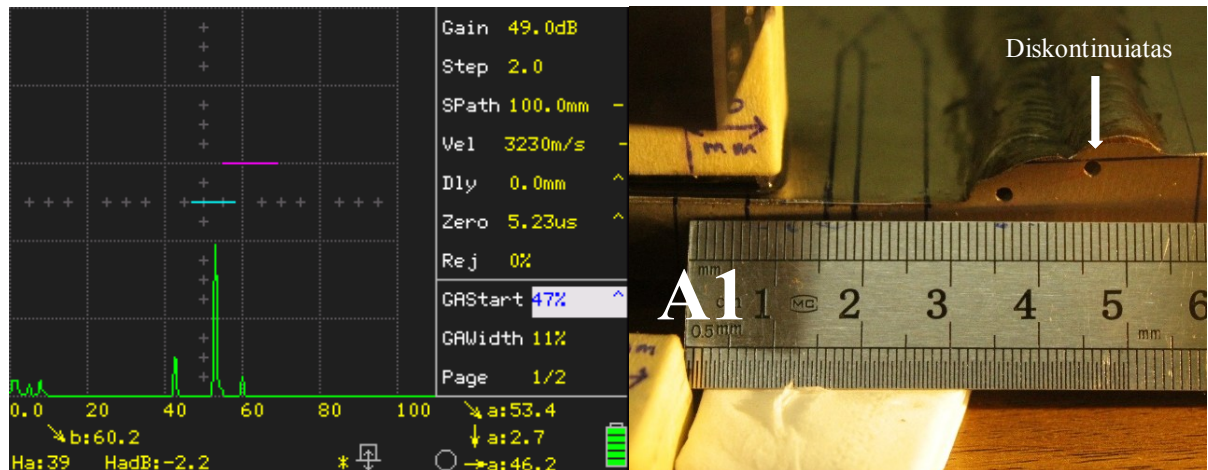
Gambar IV.3. Indikasi (1) yang terdeteksi ketika *probe* 45° diletakkan pada leg 2.



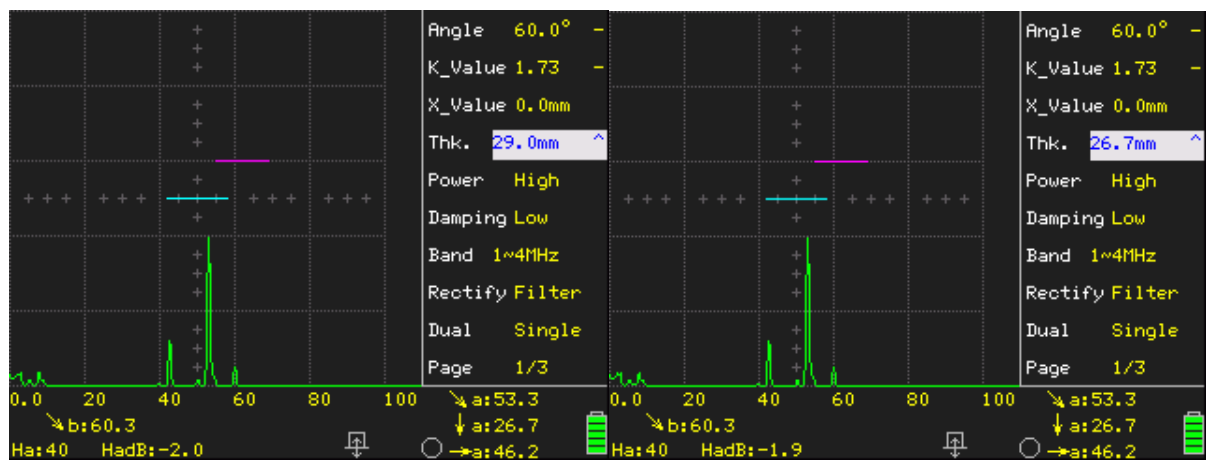
Gambar IV.4. Indikasi (2) yang terdeteksi ketika *probe* 45° diletakkan pada leg 2.

Penggunaan *probe* 45° pada sisi pengujian A1 tidak dapat diterapkan karena mahkota las tertabrak oleh sepatu *probe*, sehingga tidak dapat menjangkau leg 1. Terdapat dua indikasi sekaligus yang ditampilkan pada alat, hal ini dikarenakan letak diskontinuitas dan arah datangnya gelombang ultrasonik relatif sejajar. Indikasi yang disebelah kiri (dekat dengan angka nol) ialah indikasi yang paling dekat dengan sepatu *probe*. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah 12 mm , sedangkan jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan melebihi tebal material tersebut maka penggunaan *probe* 45° walaupun bisa mendeteksi adanya indikasi menjadi tidak valid.

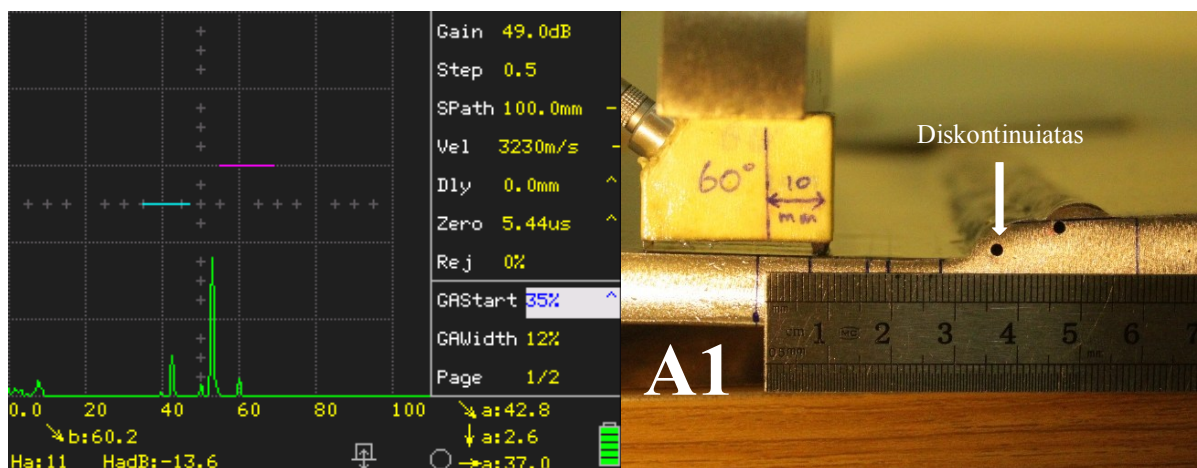
Berikut hasil scan *probe* sudut 60° pada sisi A1 :



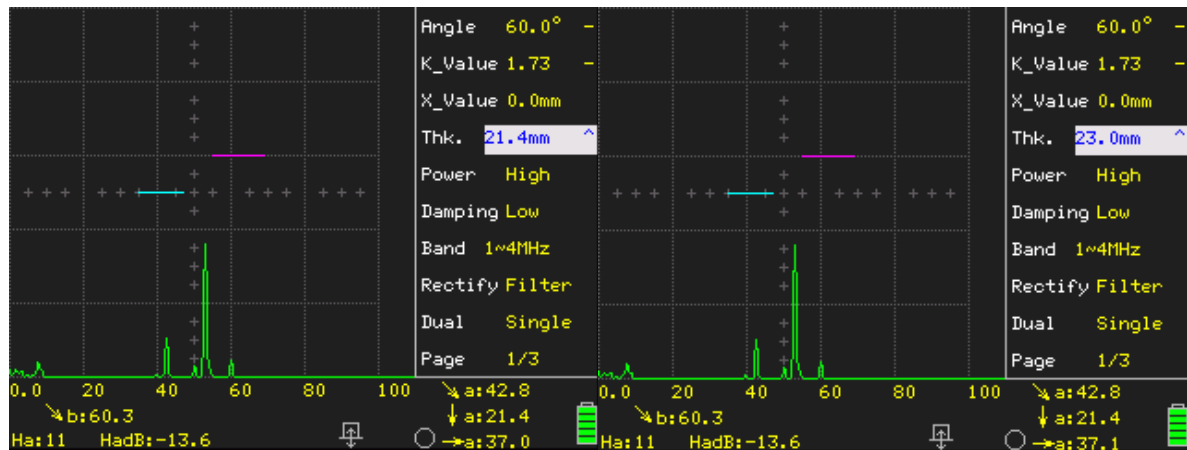
Gambar IV.5. Diskontinuitas yang terbaca 2.7 mm seharusnya -4 mm.



Gambar IV.6. Thickness ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 26.7 mm.



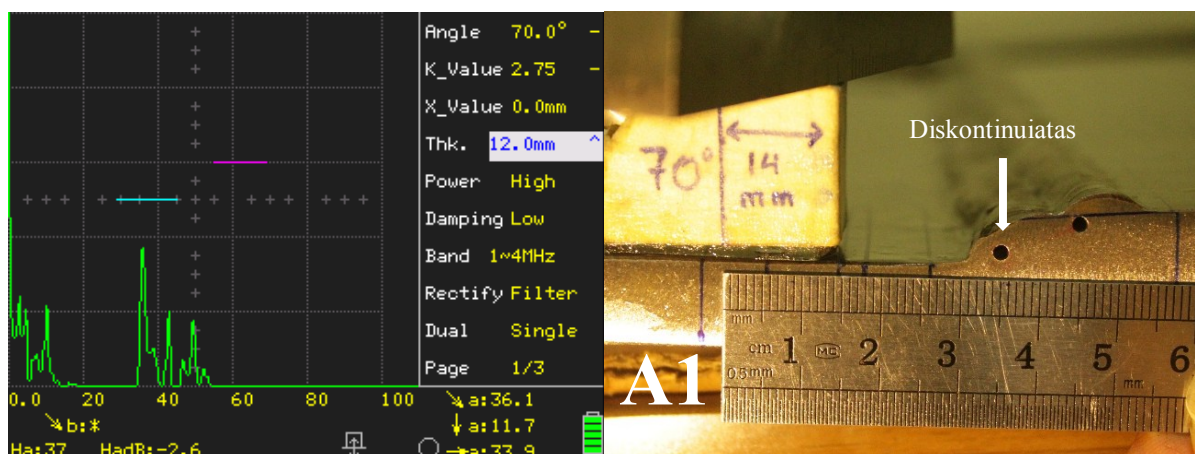
Gambar IV.7. Diskontinuitas yang terbaca yaitu 2.6 mm yang seharusnya 0 mm.



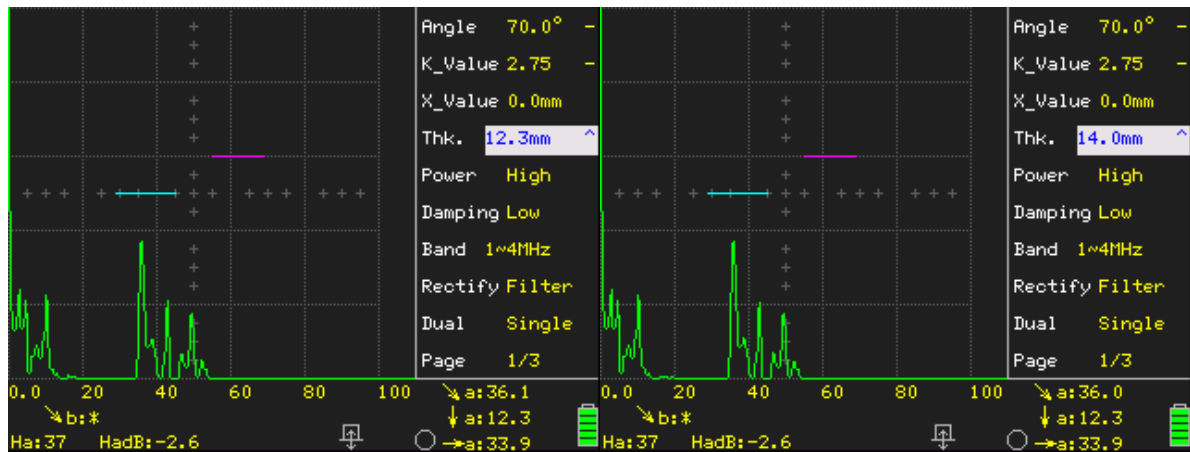
Gambar IV.8. *Thickness* ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 21.4 mm.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.5 sampai Gambar IV.8, *probe* sudut 60° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Terdapat dua diskontinuitas yang relatif sejajar dengan arah datang gelombang ultrasonik, sehingga muncul dua indikasi sekaligus pada *unit display*. Indikasi yang disebelah kiri (dekat dengan angka nol) ialah indikasi yang paling dekat dengan sepatu *probe*. Besaran jarak diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid, tetapi kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi tidak valid karena lokasi jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan material melebihi tebal material yang digunakan untuk sisi pengujian.

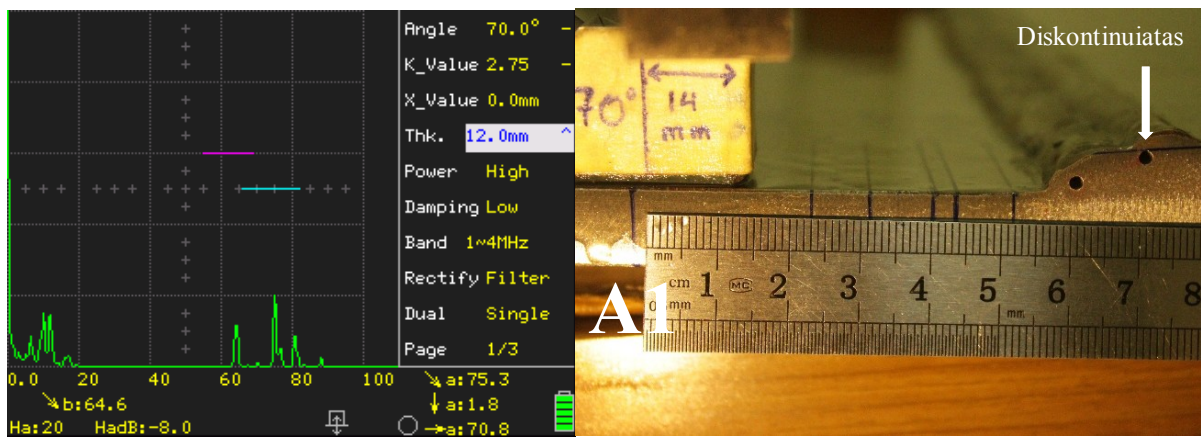
Berikut hasil scan *probe* sudut 70° pada sisi A1 :



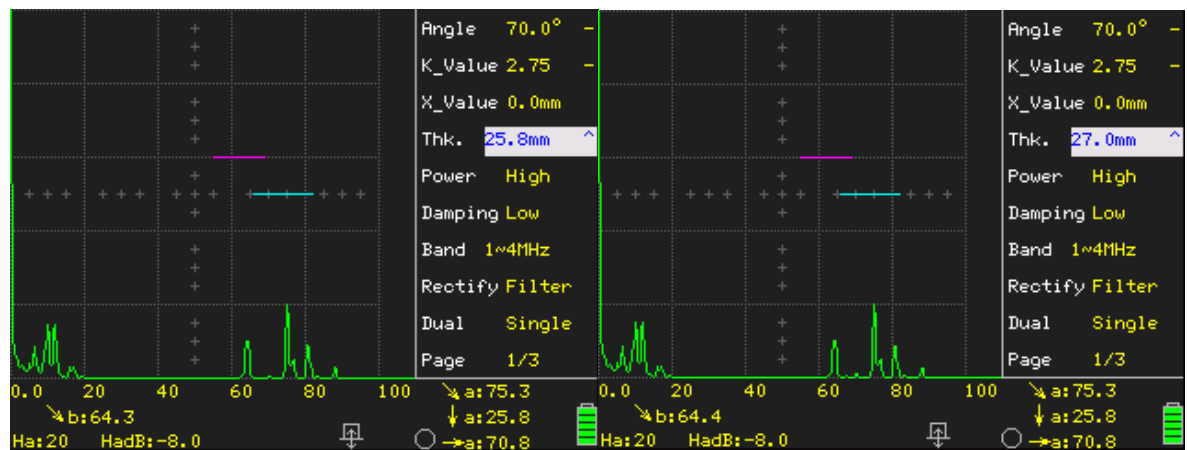
Gambar IV.9. Diskontinuitas yang terbaca 11.7 mm, seharusnya 0 mm.



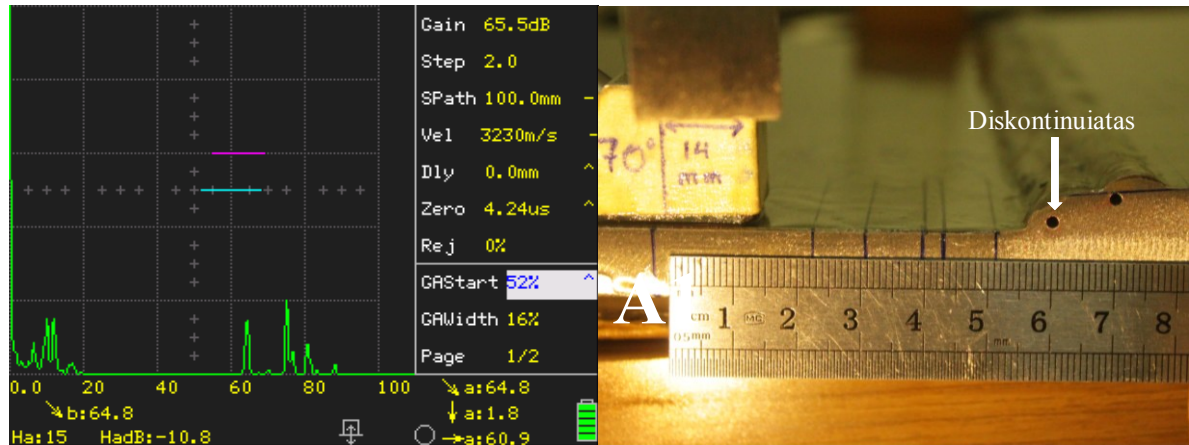
Gambar IV.10. *Thickness* ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 12.3 mm.



Gambar IV.11. Diskontinuitas yang terbaca 1.8 mm, seharusnya -4 mm.



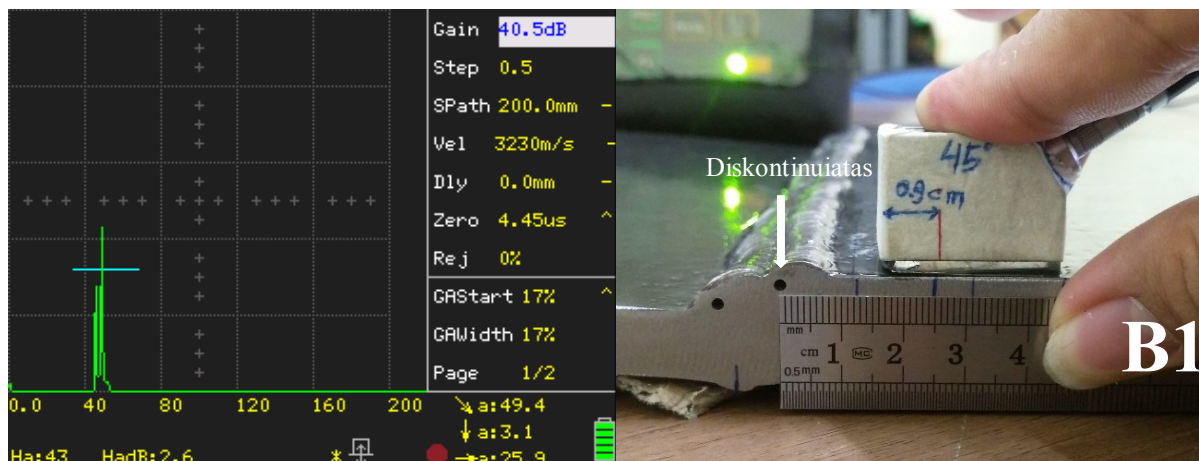
Gambar IV.12. *Thickness* ditambahkan berapapun diskontinuitas yang terbaca tetap 25.8 mm.



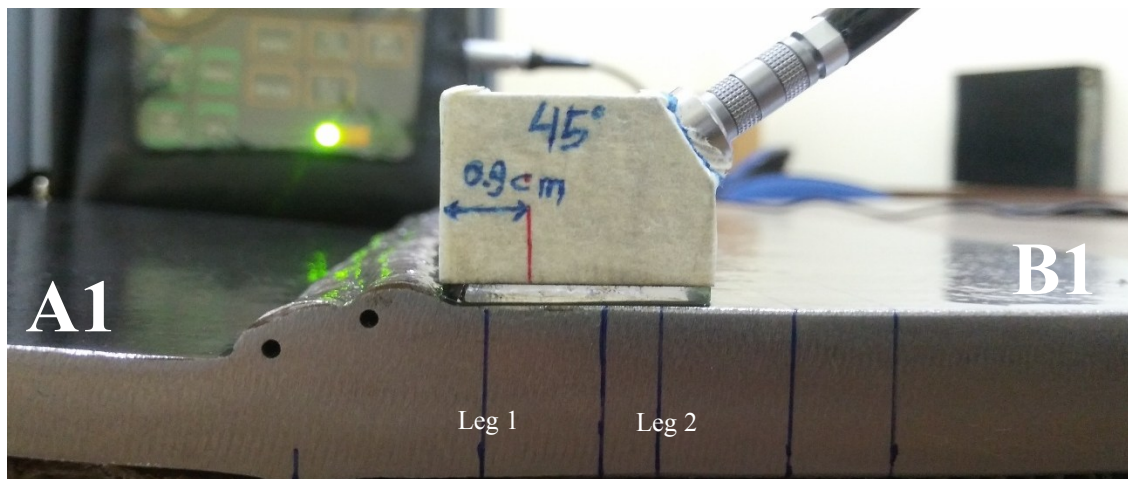
Gambar IV.13. Indikasi yang ikut terdeteksi berasal dari diskontinuitas yang lebih dekat dengan *probe*.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° untuk *scanning* dari sisi A1 seperti pada Gambar IV.9 sampai Gambar IV.13, *probe* sudut 70° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Terdapat dua diskontinuitas yang relatif sejajar dengan arah datang gelombang ultrasonik, sehingga muncul dua indikasi sekaligus pada *unit display*. Indikasi yang disebelah kiri (dekat dengan angka nol) ialah indikasi yang paling dekat dengan sepatu *probe*. Besaran jarak diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid, tetapi kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi tidak valid karena lokasi jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan material melebihi tebal material yang digunakan untuk sisi pengujian.

Berikut hasil scan *probe* sudut 45° pada sisi B1 :



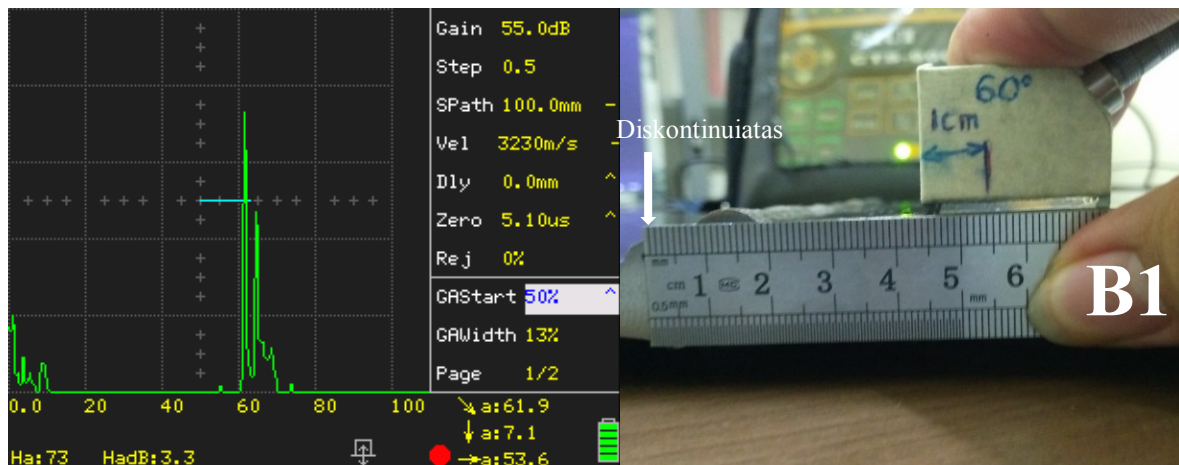
Gambar IV.14. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm menggunakan *probe* 45° dari sisi B1.



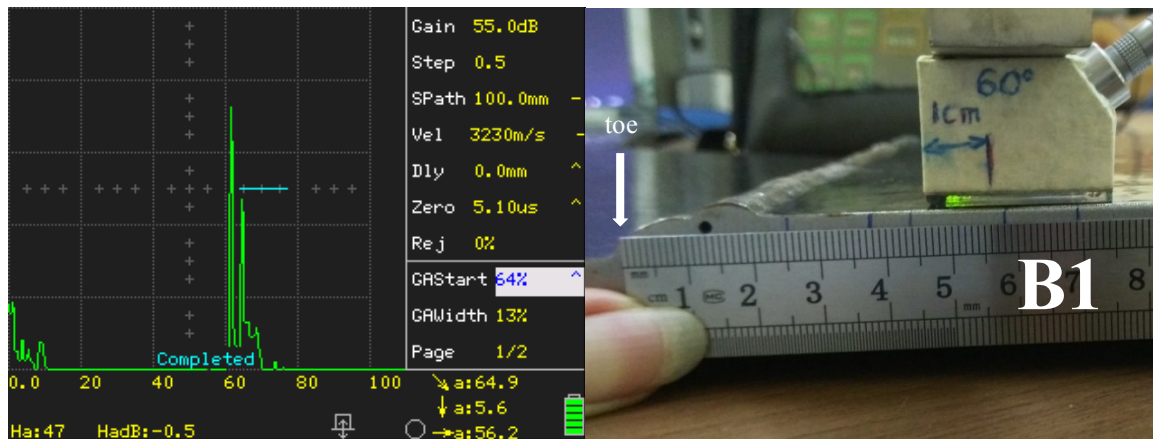
Gambar IV.15. *Probe* 45° yang tidak mencapai leg 1.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° untuk *scanning* dari sisi B1 seperti pada Gambar IV.14 sampai Gambar IV.15, *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena mahkota las tertabrak oleh sepatu *probe*, sehingga tidak dapat menjangkau leg 1. Jarak dan kedalaman diskontinuitas yang ditampilkan alat adalah valid, tetapi penggunaan *probe* sudut 45° tetap tidak dapat diterapkan karena untuk kondisi lapangan yang tidak diketahui lokasi diskontinuitasnya bisa terdapat tepat pada jangkauan leg 1 *probe* sudut 45°.

Berikut hasil *scan probe* sudut 60° pada sisi B1 :



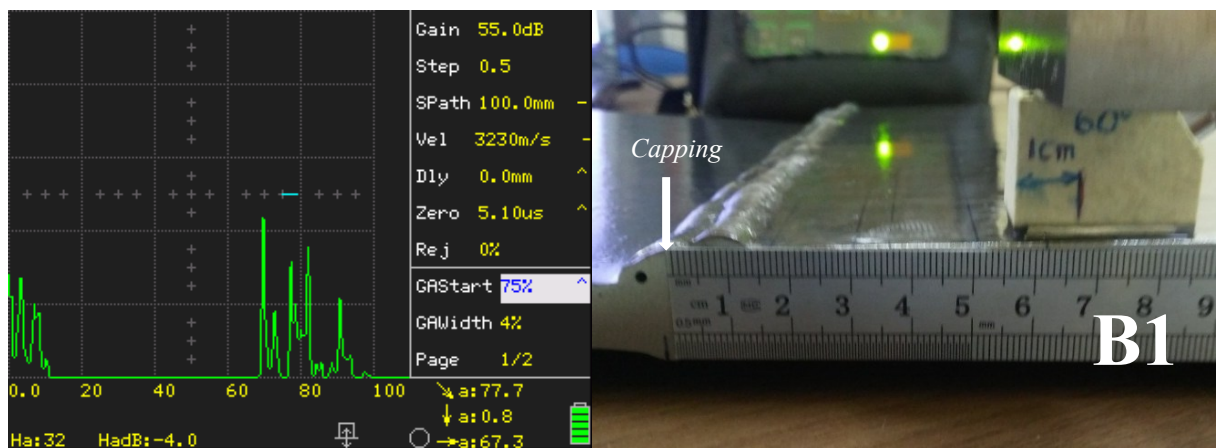
Gambar IV.16. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm menggunakan *probe* 70° dari sisi B1.



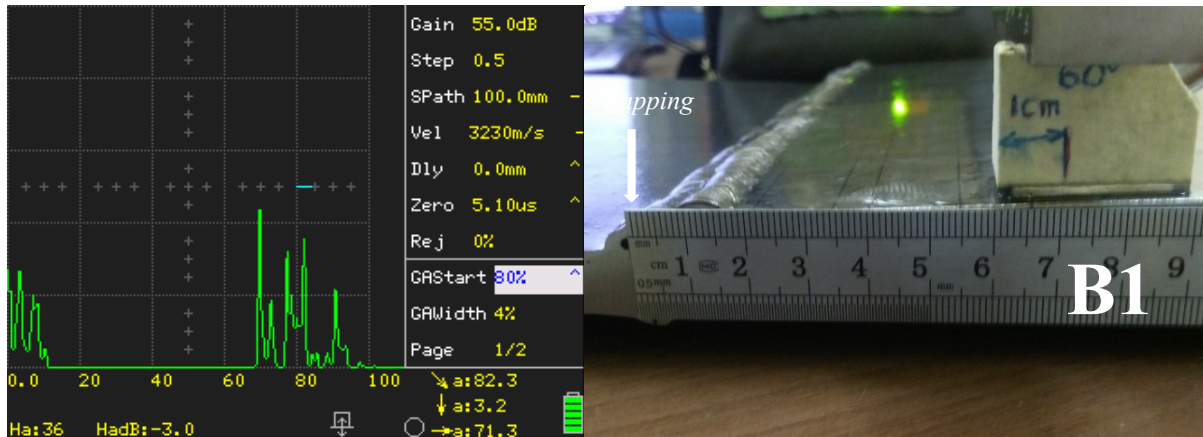
Gambar IV.17. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari *toe*.



Gambar IV.18. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm menggunakan *probe* 70° sisi B1.



Gambar IV.19. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari *capping*.



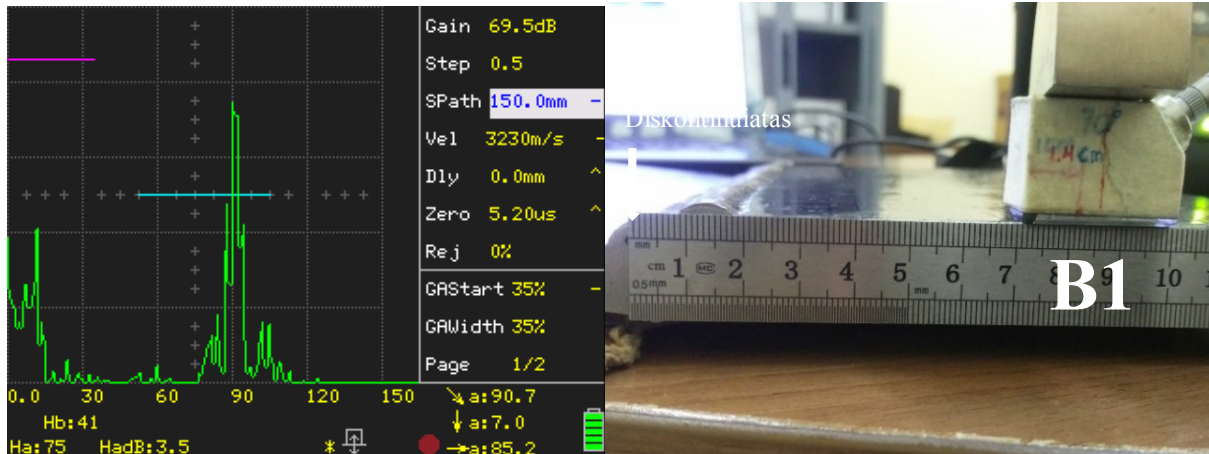
Gambar IV.20. Indikasi yang ikut terbaca berasal dari *capping*.



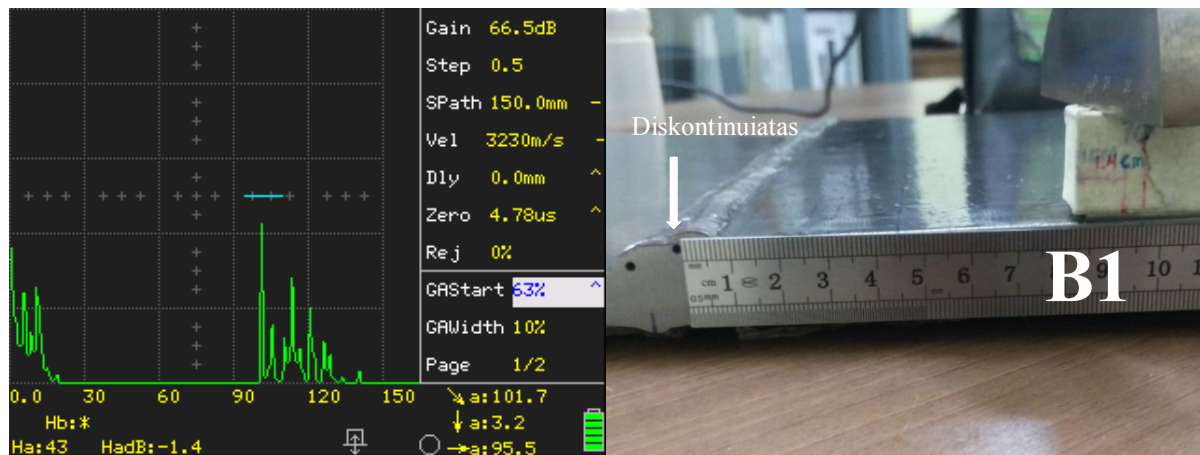
Gambar IV.21. Indikasi yang ikut terbaca pada *toe*.

Pada *scan probe* sudut 60° dari sisi B1 seperti pada Gambar IV.16 sampai Gambar IV.21, *probe* sudut 60° dapat digunakan dengan baik. Nilai jarak dan kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi sangat valid. Lokasi diskontinuitas yang berada kurang dari tebal material menghasilkan pendeteksian yang akurat. Seluruh diskontinuitas dapat dijangkau dengan pengujian menggunakan *probe* ini karena lokasinya terdapat dalam leg 1 dan leg 2. Terdapat banyak indikasi yang ditampilkan pada alat sehingga dibutuhkan ketelitian dan pengetahuan untuk menyatakan bahwa indikasi yang diukur adalah diskontinuitas atau bukan. Indikasi-indikasi yang muncul banyak berasal dari *toe* dan *capping*, serta terdapat beberapa *noise* yang berasal dari *root*.

Berikut hasil scan *probe* sudut 70° pada sisi B1 :

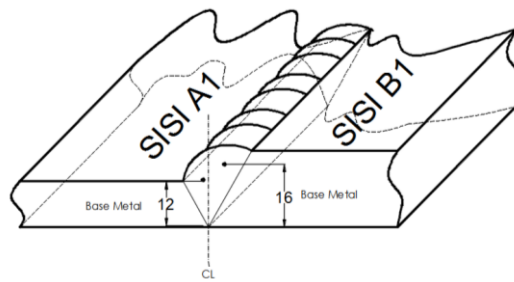


Gambar IV.22. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm menggunakan *probe* 70° dari sisi B1.



Gambar IV.23. Diskontinuitas dengan kedalaman 3 mm *probe* 70° dari sisi B1.

Pada *scan probe* sudut 70° dari sisi B1 seperti pada Gambar IV.22 sampai Gambar IV.21Gambar IV.23, *probe* sudut 70° dapat digunakan dengan baik. Nilai jarak dan kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi sangat valid. Lokasi diskontinuitas yang berada kurang dari tebal material menghasilkan pendeteksian yang akurat. Seluruh diskontinuitas dapat dijangkau dengan pengujian menggunakan *probe* ini karena lokasinya terdapat dalam leg 1 dan leg 2. Terdapat banyak indikasi yang ditampilkan pada alat sehingga dibutuhkan ketelitian dan pengetahuan untuk menyatakan bahwa indikasi yang diukur adalah diskontinuitas atau bukan. Indikasi-indikasi yang muncul banyak berasal dari *toe* dan *capping*, serta terdapat beberapa *noise* yang berasal dari *root*. Jangkauan *probe* sudut 70° lebih panjang dibandingkan dengan sudut 60°.



Gambar IV.24. Pengujian dari sisi A1 dan B1.

Tabel IV.1. Hasil *scanning* dari sisi A1 dan B1 untuk kedalaman diskontinuitas 12 mm.

Sisi A1 (t= 12 mm)	Keterangan		SISI B1 (t= 19 mm)
45°			45°
60°			60°
70°			70°

Tabel IV.2. Hasil *scanning* dari sisi A1 dan B1 untuk kedalaman diskontinuitas 16 mm.

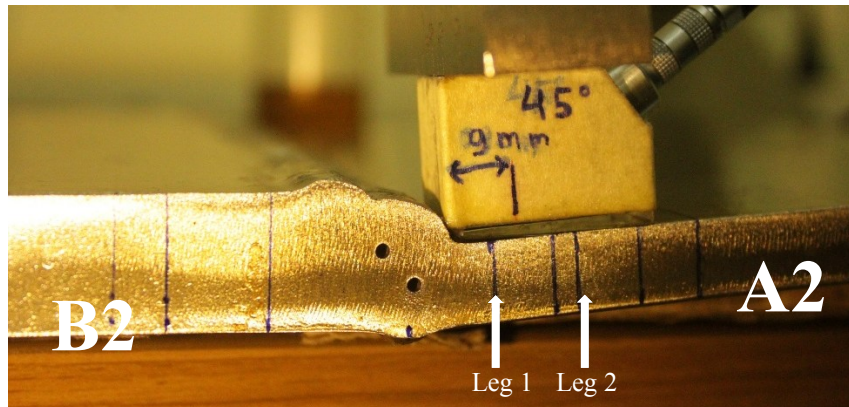
Sisi A1 (t= 12 mm)	Keterangan		SISI B1 (t= 19 mm)
45°			45°
60°			60°
70°			70°

Applicable =
 Not Applicable =

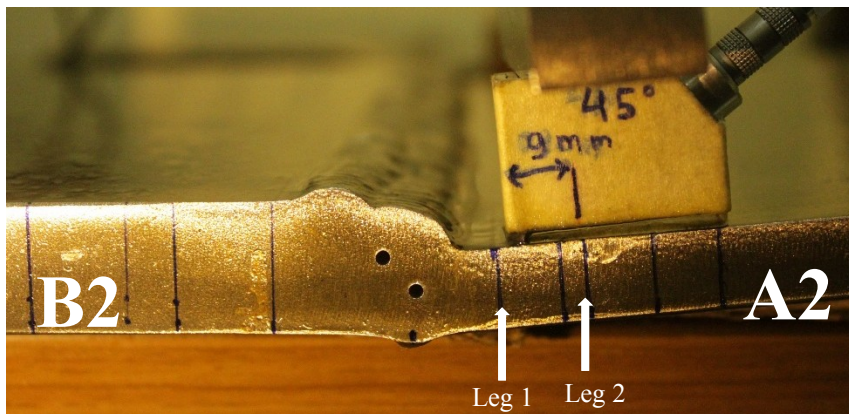
Berdasarkan pada Tabel IV.1, Tabel IV.2, dan Gambar IV.24 diperoleh data bahwa *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sehingga tidak dapat mencapai leg 1 dengan baik. Pengujian dari sisi A1 tidak dapat diterapkan oleh semua *probe* sudut yang digunakan karena diskontinuitas pada daerah las-lasan lebih tinggi dari tebal material sisi A1. Lokasi diskontinuitas yang sejajar dengan arah pantulan gelombang ultrasonik mengakibatkan timbulnya dua indikasi sekaligus yang ditampilkan pada layar sehingga operator pengujian harus tahu yang mana diskontinuitas yang relevan. Hanya *probe* 60° dan 70° dari sisi B1 yang dapat diterapkan pada kondisi material ini karena jarak dan kedalaman diskontinuitas yang didapatkan sangat valid. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

IV.2. Hasil Scanning Sisi A2 dan B2 Pada Material Tanpa Chamfer

Berikut hasil scan *probe* sudut 45° pada sisi A2 :



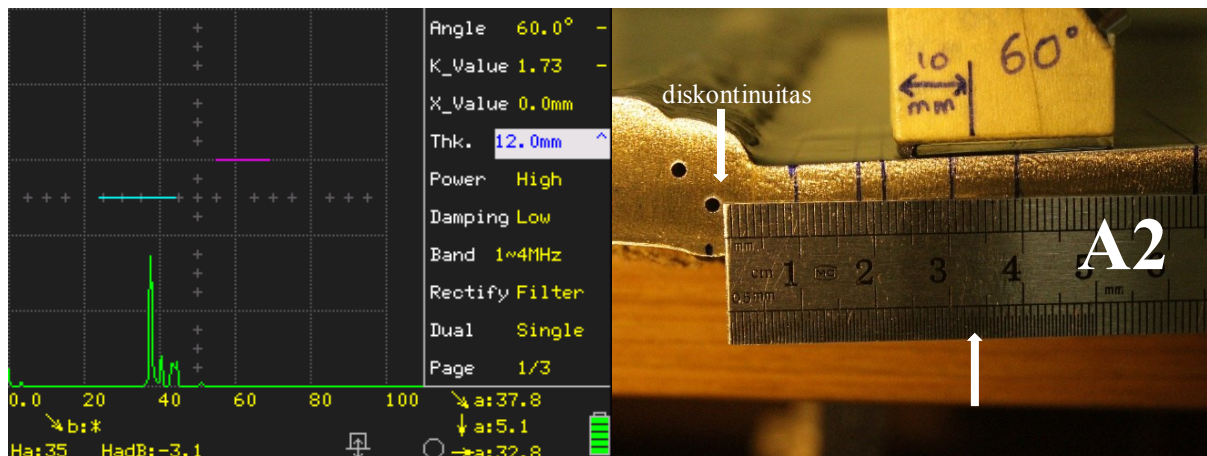
Gambar IV.25. *Probe* sudut 45° tidak dapat menjangkau leg 1.



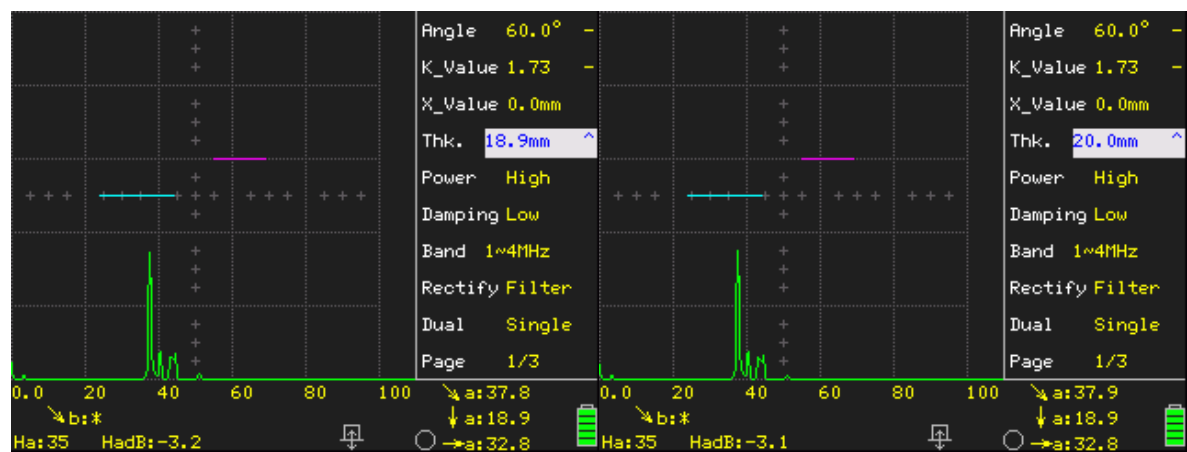
Gambar IV.26. Posisi *scanning* pada *probe* 45° leg 2.

Penggunaan *probe* 45° pada sisi pengujian A2 tidak dapat diterapkan karena mahkota las tertabrak oleh sepatu *probe*, sehingga tidak dapat menjangkau leg 1. Terdapat dua indikasi sekaligus yang ditampilkan pada alat, hal ini dikarenakan letak diskontinuitas dan arah datangnya gelombang ultrasonik relatif sejajar. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah 12 mm , sedangkan jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan ada yang lebih dari tebal material tersebut maka penggunaan *probe* 45° untuk mendeteksi indikasi menjadi tidak valid. Leg 1 tidak dapat dijangkau dengan *probe* 45° , oleh karena itu penggunaan *probe* ini tidak bisa diaplikasikan pada lapangan mengingat lokasi diskontinuitas yang belum diketahui.

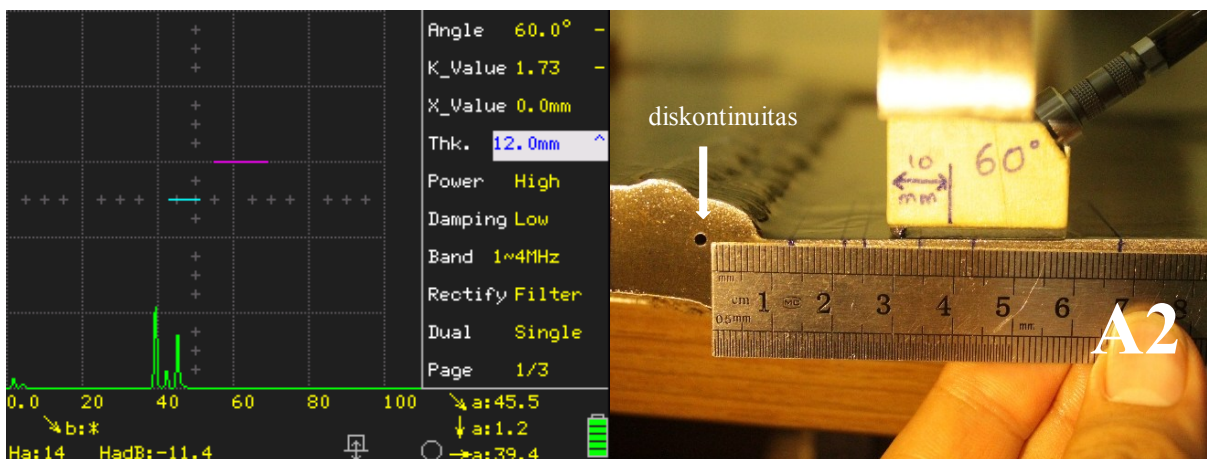
Berikut hasil scan *probe* sudut 60° pada sisi A2 :



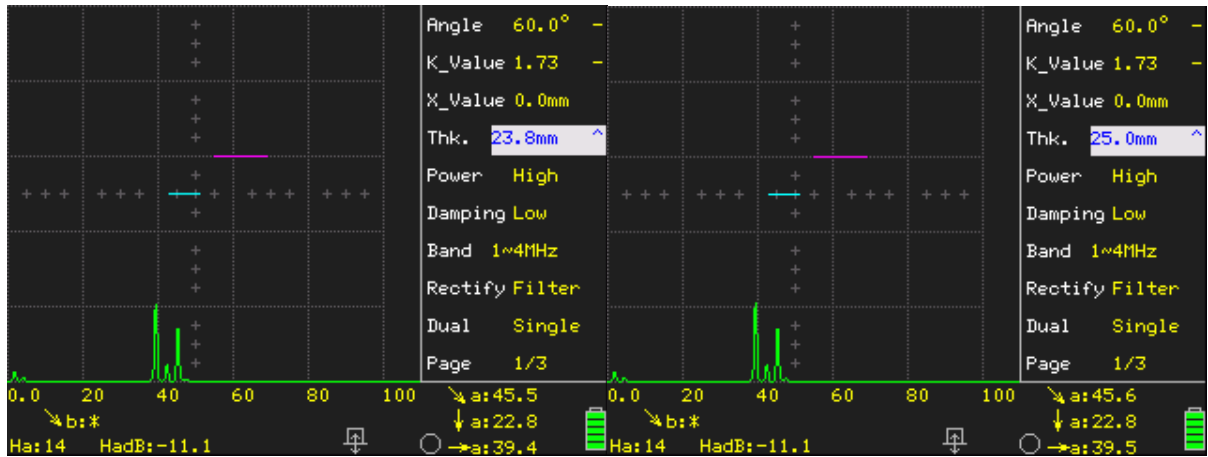
Gambar IV.27. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm terbaca 5 mm.



Gambar IV.28. Diskontinuitas 7 mm yang terbaca 18.9 mm karena penambahan ketebalan.



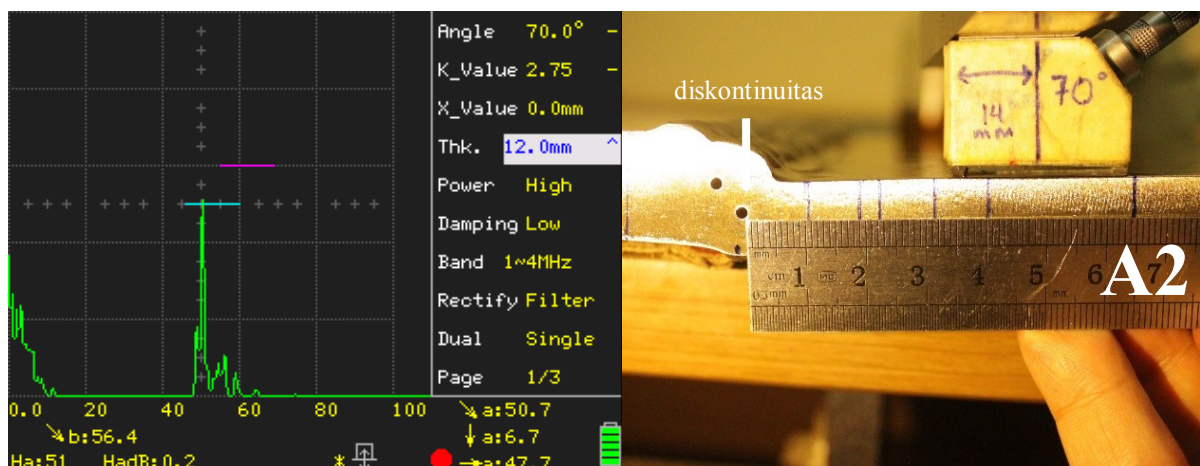
Gambar IV.29. Diskontinuitas dengan kedalaman 2 mm yang terdeteksi.



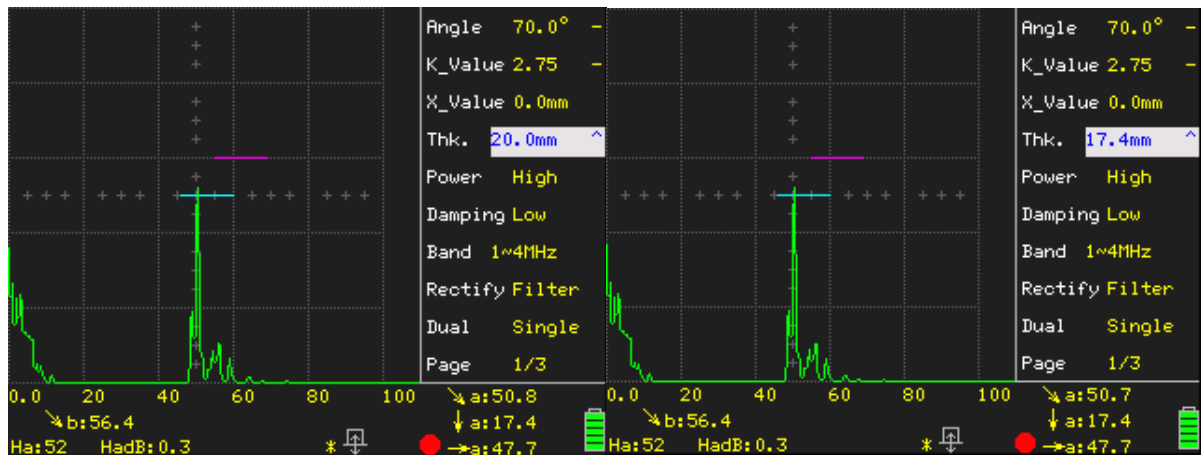
Gambar IV.30. *Thickness* yang jika ditambahkan sampai berapapun nilainya tetap 22.8 mm.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.27. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm terbaca 5 mm sampai Gambar IV.30, *probe* sudut 60° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Terdapat dua diskontinuitas yang relatif sejajar dengan arah datang gelombang ultrasonik, sehingga muncul dua indikasi sekaligus pada *unit display*. Untuk kondisi pada lapangan, kita harus mengetahui yang mana diskontinuitas yang dekat dengan *probe* dan yang mana yang lebih jauh. Indikasi yang disebelah kiri (dekat dengan angka nol) ialah indikasi yang paling dekat dengan sepatu *probe*. Besaran jarak diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid, tetapi kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi tidak valid karena lokasi jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan material melebihi tebal material yang digunakan untuk sisi pengujian.

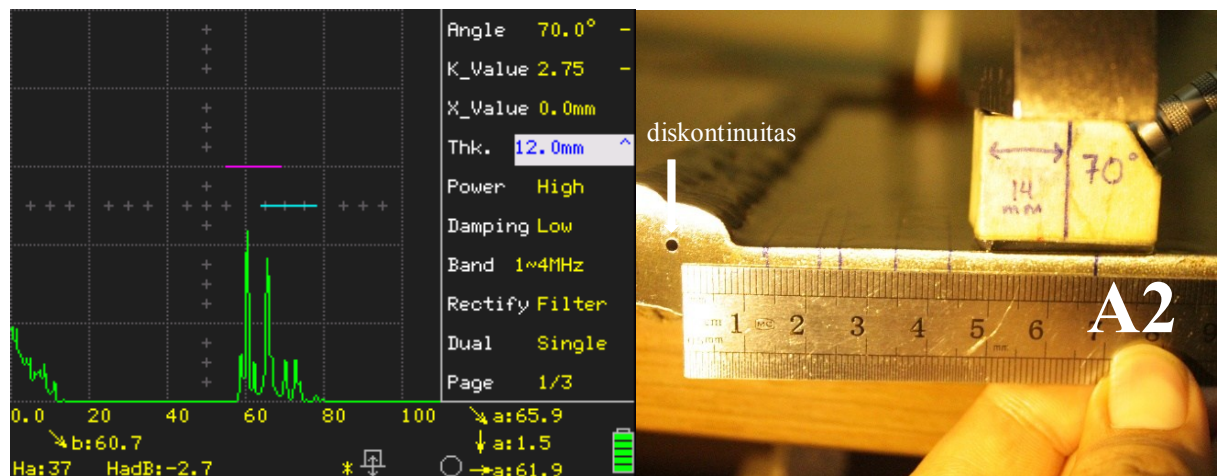
Berikut hasil scan *probe* sudut 70° pada sisi A2 :



Gambar IV.31. Diskontinuitas dengan kedalaman 7 mm yang terdeteksi.



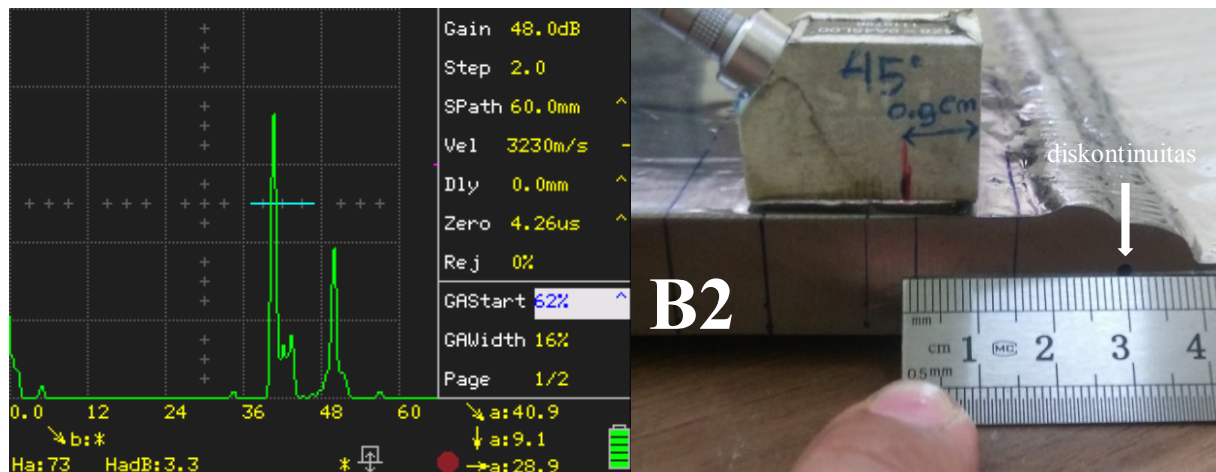
Gambar IV.32. Diskontinuitas 7 mm yang terbaca 17.4 mm karena penambahan ketebalan.



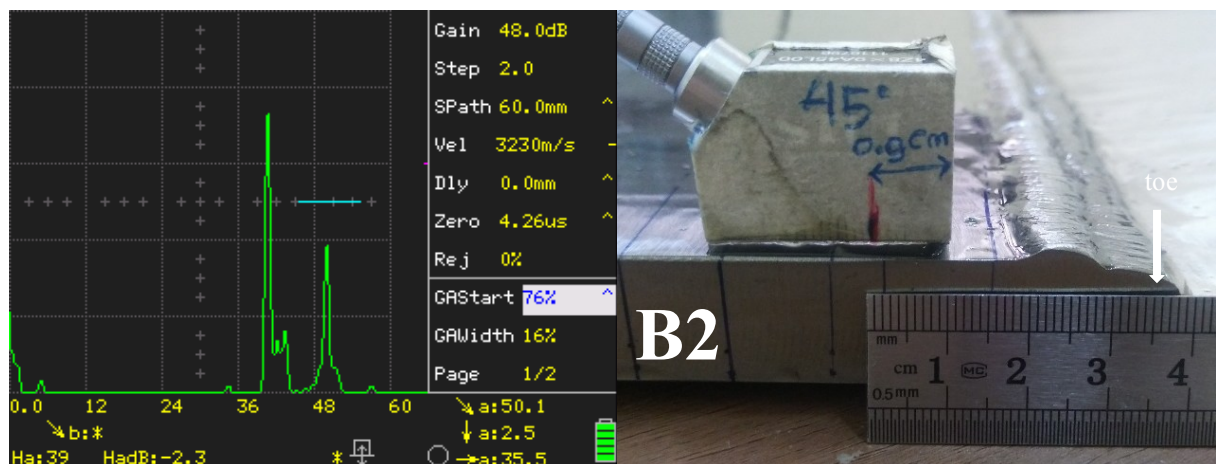
Gambar IV.33. Diskontinuitas dengan kedalaman 2 mm yang terdeteksi.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti pada Gambar IV.31 sampai Gambar IV.33, *probe* sudut 70° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Terdapat dua diskontinuitas yang relatif sejajar dengan arah datang gelombang ultrasonik, seperti pada Gambar IV.33, sehingga muncul dua indikasi sekaligus pada *unit display*. Untuk kondisi pada lapangan, kita harus mengetahui yang mana diskontinuitas yang dekat dengan *probe* dan yang mana yang lebih jauh. Indikasi yang disebelah kiri (dekat dengan angka nol) ialah indikasi yang paling dekat dengan sepatu *probe*. Besaran jarak diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid, tetapi kedalaman diskontinuitas yang terdeteksi tidak valid karena lokasi jarak diskontinuitas terhadap bawah permukaan material melebihi tebal material yang digunakan untuk sisi pengujian. Penggunaan *probe* sudut 70° memiliki jangkauan leg 1 dan leg 2 yang lebih luas dari *probe* sudut 45° dan 60° , akan tetapi dibutuhkan ruang/penampang yang lebih luas juga untuk melakukan pengujian.

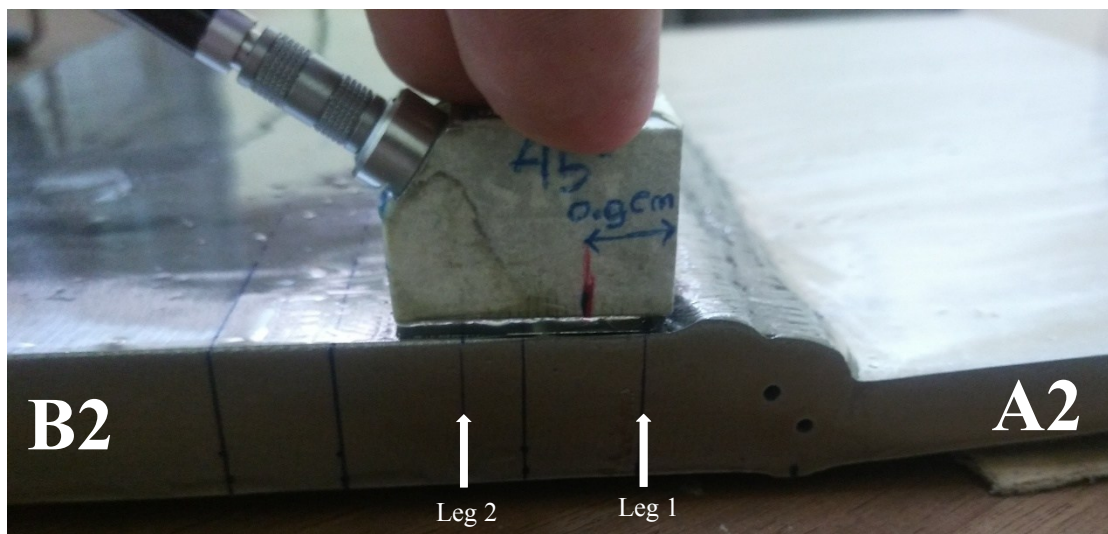
Berikut hasil scan *probe* sudut 45° pada sisi B2 :



Gambar IV.34. Diskontinuitas dengan kedalaman 9 mm.



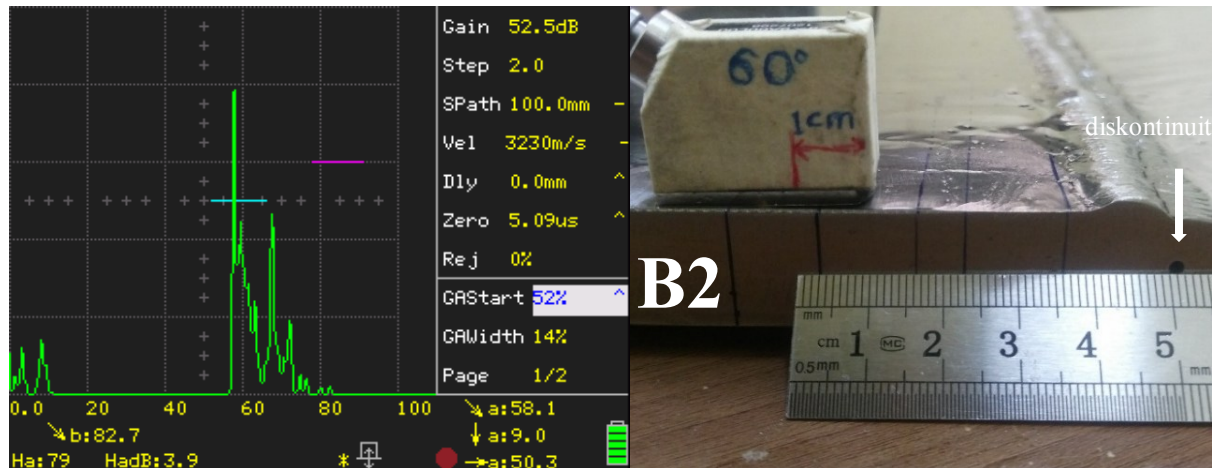
Gambar IV.35. Indikasi pada leg 2 yang ikut terbaca menggunakan *probe* 45°.



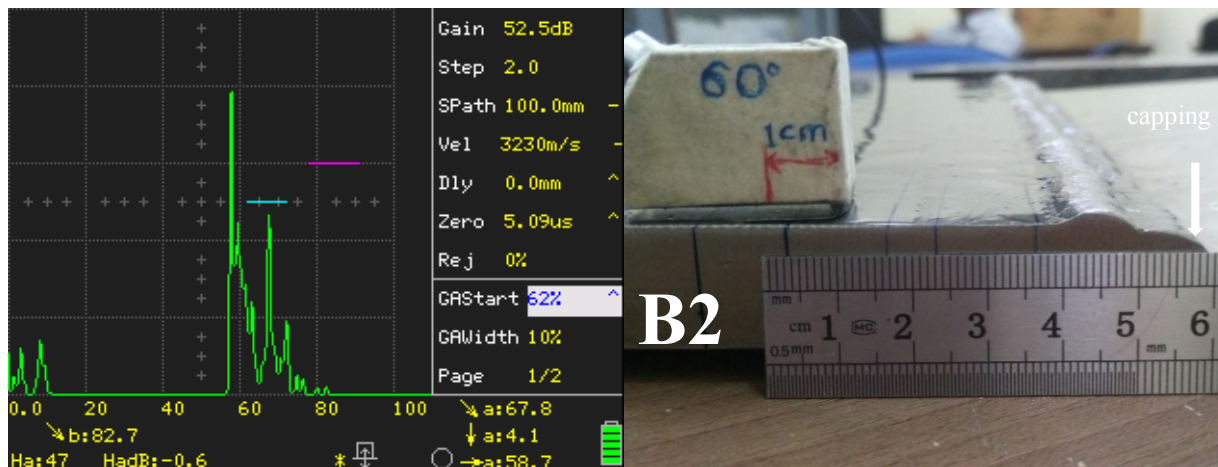
Gambar IV.36. Leg 1 yang tidak terjangkau probe sudut 45°.

Pada pengujian dari sisi B2 seperti pada Gambar IV.34 sampai Gambar IV.36, *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan dengan baik karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sebelum mencapai leg 1. Diskontinuitas yang berada pada logam las dengan ukuran kurang dari tebal material dapat terdeteksi dengan baik oleh *probe* sudut 45°, tetapi jika ada diskontinuitas yang lokasinya pada leg 1 maka diskontinuitas tersebut tidak dapat terdeteksi dengan baik.

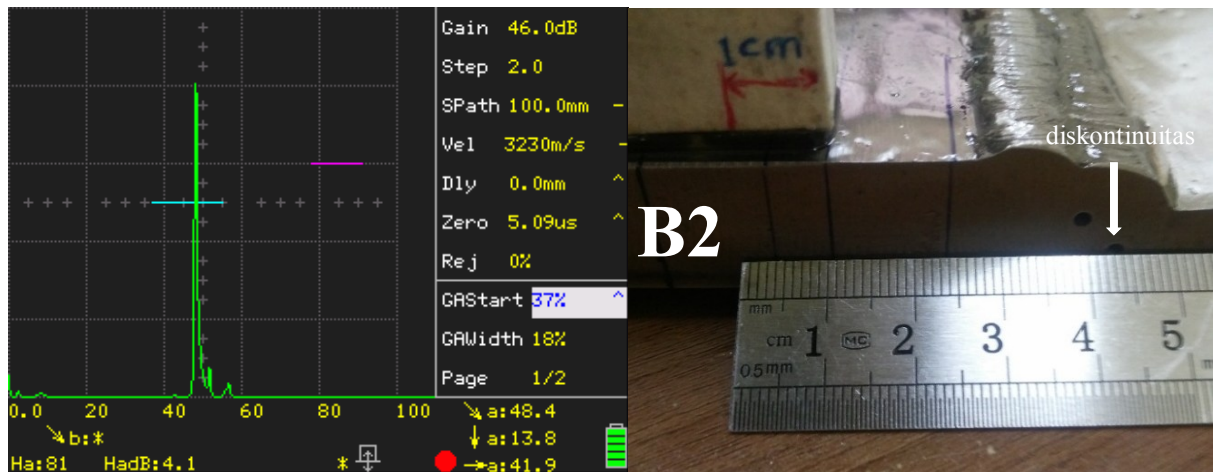
Berikut hasil scan *probe* sudut 60° pada sisi B2 :



Gambar IV.37. Diskontinuitas dengan kedalaman 9.



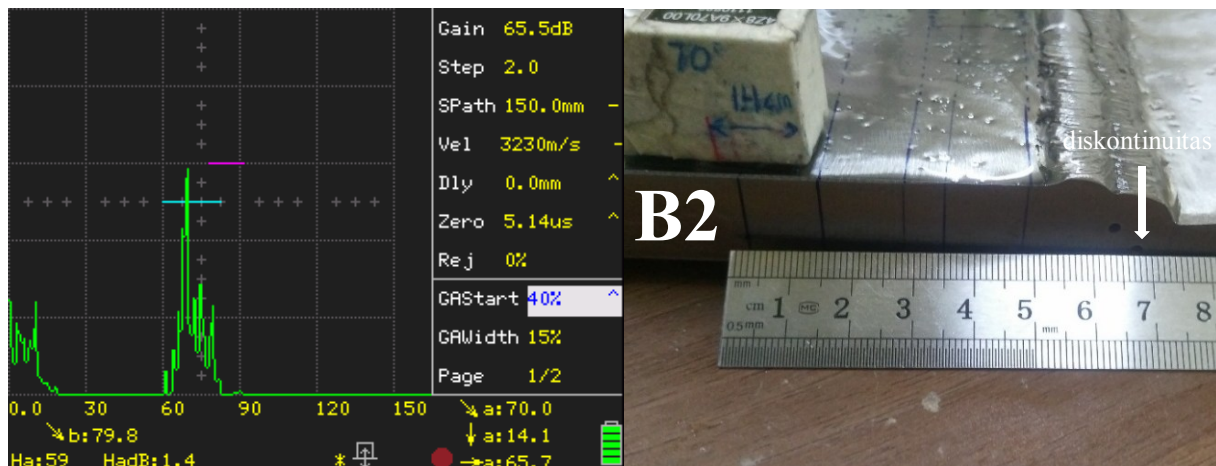
Gambar IV.38. Indikasi pada *capping* yang ikut terdeteksi menggunakan *probe* 60°.



Gambar IV.39. Diskontinuitas dengan kedalaman 14 mm.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.37 sampai Gambar IV.39 seluruh diskontinuitas dapat terdeteksi dengan baik karena lokasi diskontinuitas berada dalam jangkauan leg 1 dan leg 2. Lokasi diskontinuitas yang kedalamannya kurang dari tebal material menghasilkan pendeteksian yang akurat.

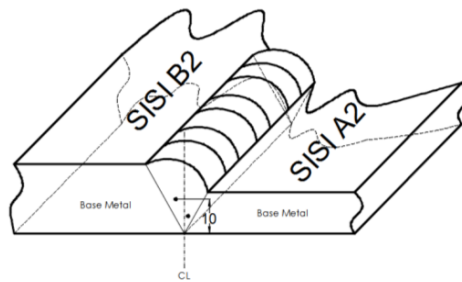
Berikut hasil scan *probe* sudut 70° pada sisi B2 :



Gambar IV.40. Diskontinuitas dengan kedalaman 14 mm yang terbaca.



Gambar IV.41. Diskontinuitas dengan kedalaman 9 mm yang terbaca.





Gambar IV.42. Pengujian dari sisi A2 dan B2.

Tabel IV.3. Hasil *scanning* dari sisi A2 dan B2 untuk kedalaman diskontinuitas 5 mm.

Sisi B2 (t= 19 mm)	Keterangan		SISI A2 (t= 12 mm)
45°	Not Applicable	Not Applicable	45°
60°	Applicable	Applicable	60°
70°	Applicable	Applicable	70°

Tabel IV.4. Hasil *scanning* dari sisi A2 dan B2 untuk kedalaman diskontinuitas 10 mm.

Sisi B2 (t= 19 mm)	Keterangan		SISI A2 (t= 12 mm)
45°	Not Applicable	Not Applicable	45°
60°	Applicable	Applicable	60°
70°	Applicable	Applicable	70°

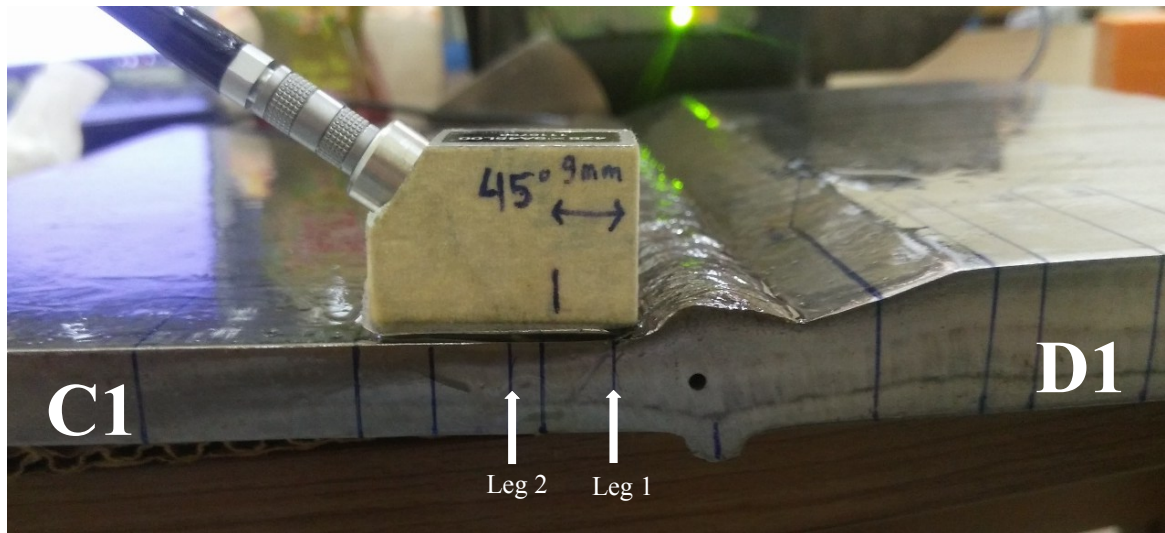
Applicable = 
 Not Applicable = 

Berdasarkan Tabel IV.3, Tabel IV.4, dan Gambar IV.42 diperoleh data bahwa *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sehingga tidak dapat mencapai leg 1 dengan baik. Pengujian dari sisi A2 dan B2 dapat diterapkan oleh *probe* sudut 60° dan 70° karena lokasi diskontinuitas yang tidak melebihi tebal material serta jarak dan kedalaman diskontinuitas yang dideteksi kedua *probe* tersebut valid. Lokasi diskontinuitas yang sejajar dengan arah pantulan gelombang ultrasonik mengakibatkan timbulnya dua indikasi sekaligus yang ditampilkan pada layar sehingga operator pengujian harus tahu yang mana diskontinuitas yang relevan. Sisi material yang lebih tipis dapat menunjukkan indikasi jarak dengan valid, tetapi tidak 100% akurat untuk mengukur kedalaman diskontinuitas. Hal ini dikarenakan gelombang suara yang dipantulkan dan ketebalan material yang diubah-ubah pada alat (menyesuaikan) tebal tidak dapat direspon dengan baik oleh alat. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

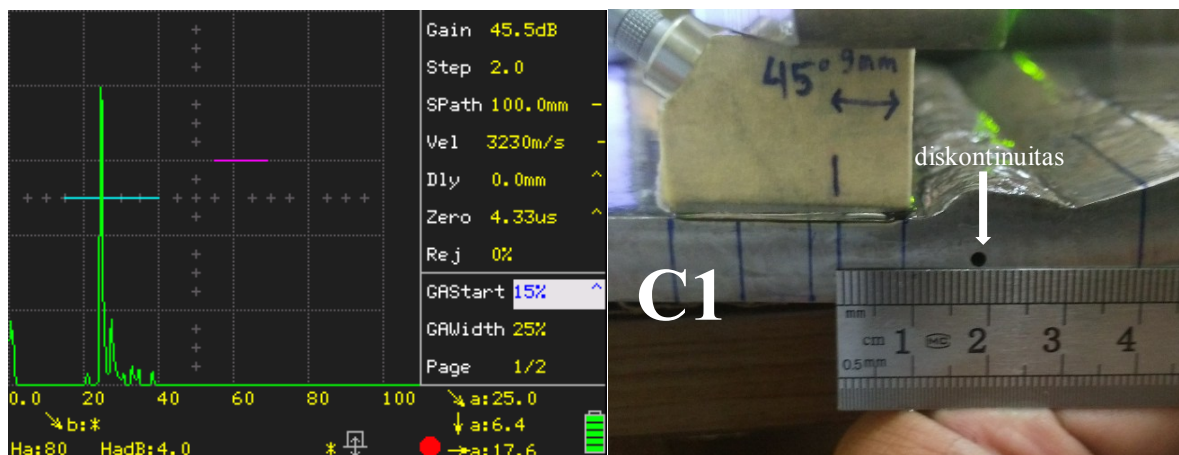
IV.3. Hasil Scanning Sisi C1 dan D1 Pada *Chamfered Material*

Pengelasan dengan *chamfered* ini memiliki dua diskontinuitas yang diuji yaitu jarak 10 dan 5 mm dari bawah material. Pada material ini seharusnya dilakukan scanning dengan tebal material 20 dan 12 mm, tetapi dipasaran sulit mendapatkan material dengan tebal 20 mm, sehingga tebal aktualnya ialah 19 dan 12 mm.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi C1 :



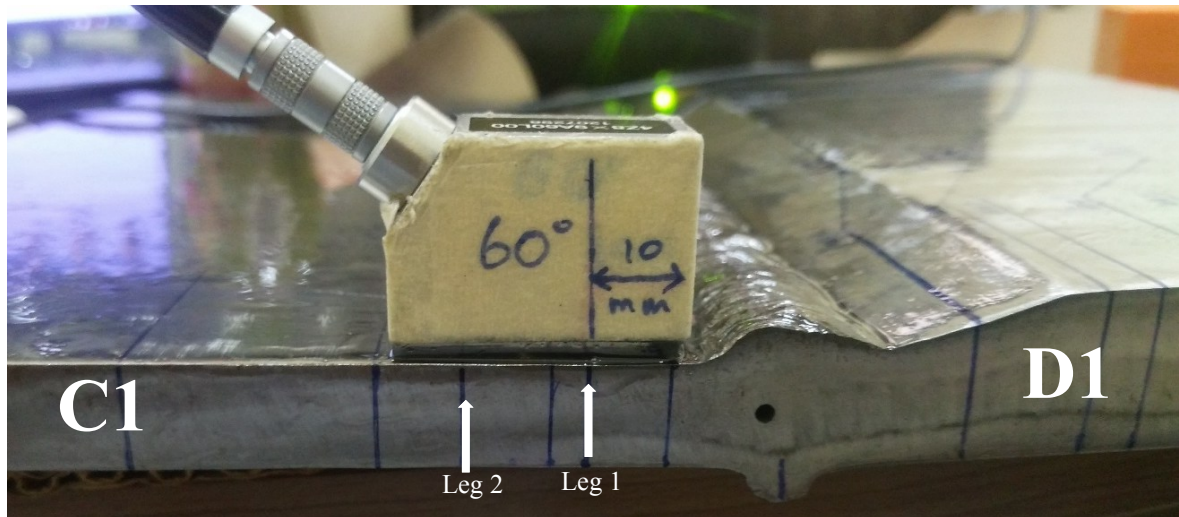
Gambar IV.43. Leg 1 tidak terjangkau pada *chamfered material* probe 45° dari sisi C1.



Gambar IV.44. Diskontinuitas pada *chamfered material* probe 45° dari sisi C1.

Pada pengujian dari sisi C1 seperti pada Gambar IV.43 dan Gambar IV.44, *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan dengan baik karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sebelum mencapai leg 1. Diskontinuitas yang ukuran kedalamannya kurang dari tebal material menghasilkan keakuratan yang baik dalam pengujian ultrasonik. Pada kenyataannya jika diterapkan di lapangan, lokasi diskontinuitas belum diketahui apakah tepat berada di leg 1/ mencapai leg 1, sehingga *probe* sudut 45° tidak dapat diaplikasikan pada pengujian dari sisi C1.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi C1 :



Gambar IV.45. Sepatu *probe* terangkat pada *chamfered material* probe 60° dari sisi C1.



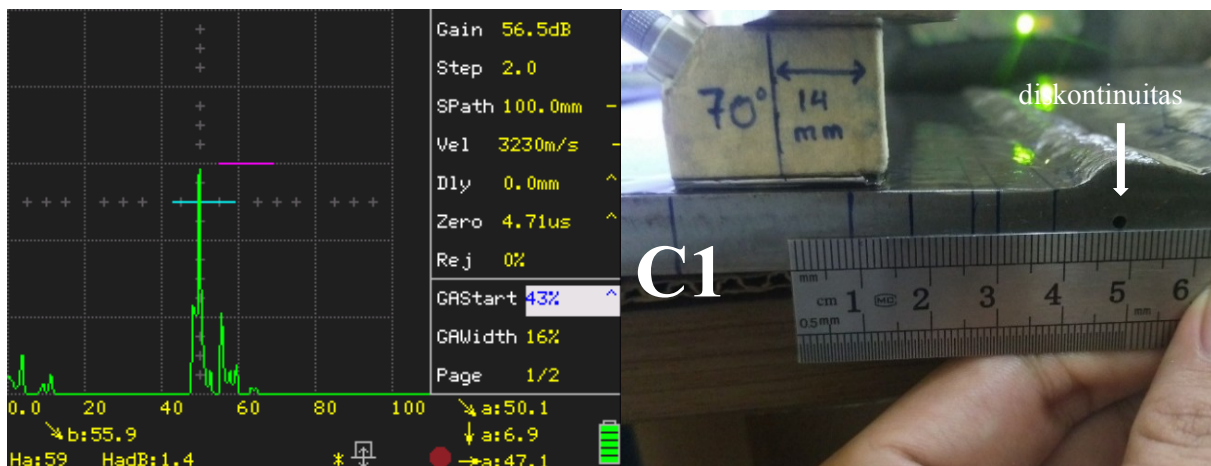
Gambar IV.46. Diskontinuitas di *chamfered material* menggunakan *probe* 60° dari sisi C1.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° dari sisi C1 seperti pada Gambar IV.45 sampai Gambar IV.46, *probe* sudut 60° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Besaran jarak dan kedalaman diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid, tetapi jika terdapat diskontinuitas yang lokasinya ketika *probe* sudut 60° tepat pada leg 1 maka diskontinuitas tidak dapat terdeteksi dengan baik karena *probe* sedikit terangkat. *Probe* yang terangkat akan memancarkan gelombang suara ke udara mengakibatkan energi suara tidak tersalurkan dengan baik pada logam yang diuji mengingat udara adalah penghantar gelombang ultrasonik yang sangat buruk.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 70° dari sisi C1 :



Gambar IV.47. Posisi probe 70° pada leg 1 di *chamfered material* dari sisi C1.



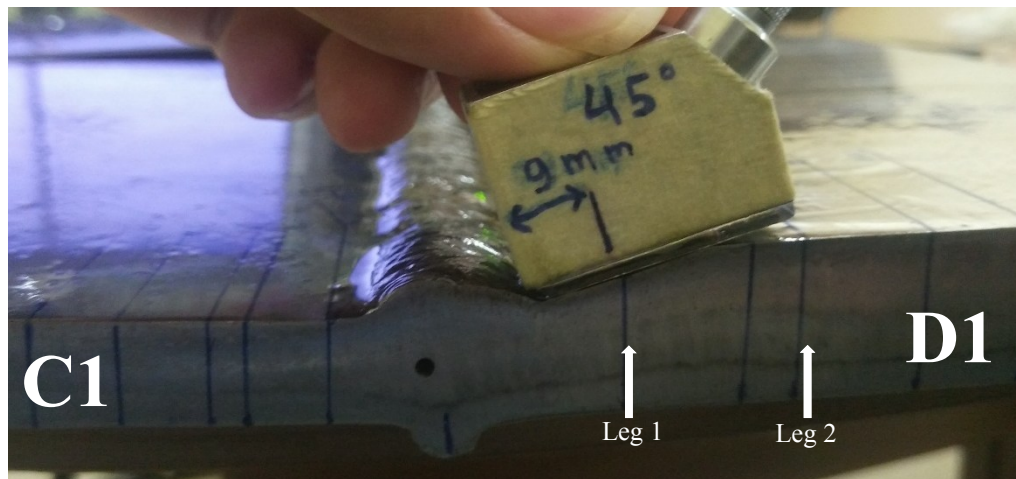
Gambar IV.48. Diskontinuitas pada *chamfered material* probe 70° dari sisi C1.



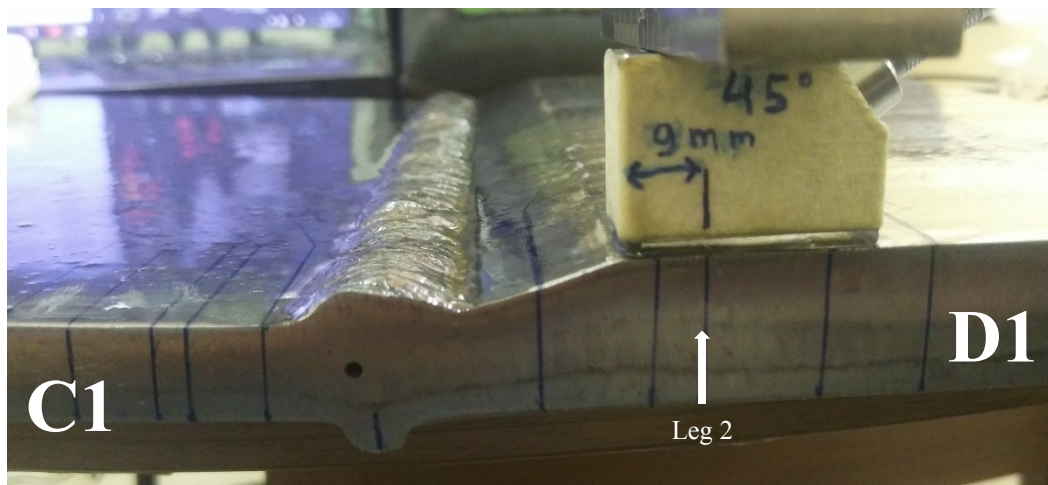
Gambar IV.49. Indikasi pada leg 2 di *chamfered material* dari sisi C1.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti Gambar IV.47 sampai Gambar IV.49, *probe* sudut 70° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Besaran jarak dan kedalaman diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid. Penggunaan *probe* sudut 70° memiliki jangkauan leg 1 dan leg 2 yang lebih luas dari *probe* sudut 45° dan 60° , akan tetapi dibutuhkan ruang/penampang yang lebih luas juga untuk melakukan pengujian. Kedalaman diskontinuitas yang dilakukan pengujian dari sisi C1 ini memiliki ukuran yang kurang dari tebal material sehingga hasil yang didapatkan sangat akurat.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi D1 :



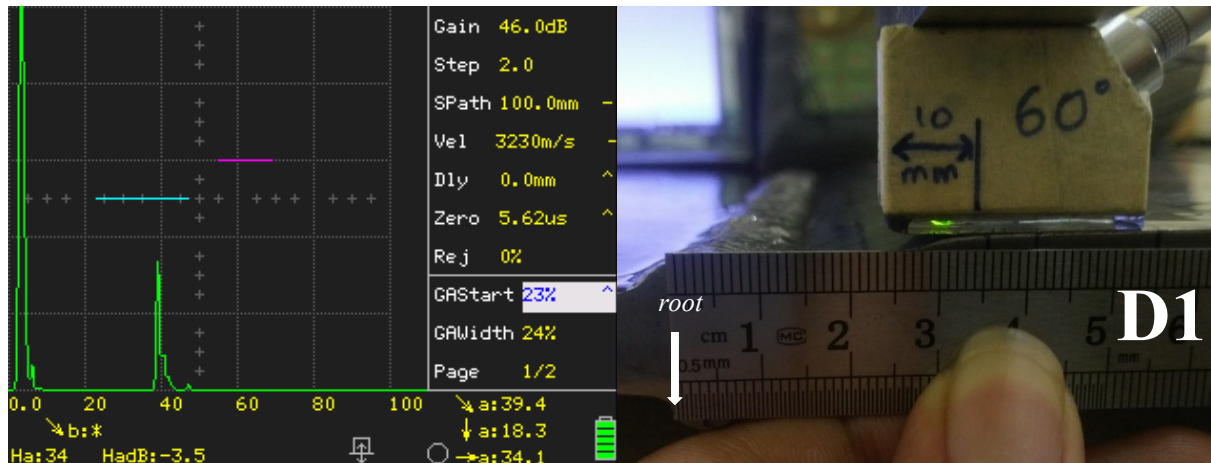
Gambar IV.50. Posisi *probe* 45° tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian.



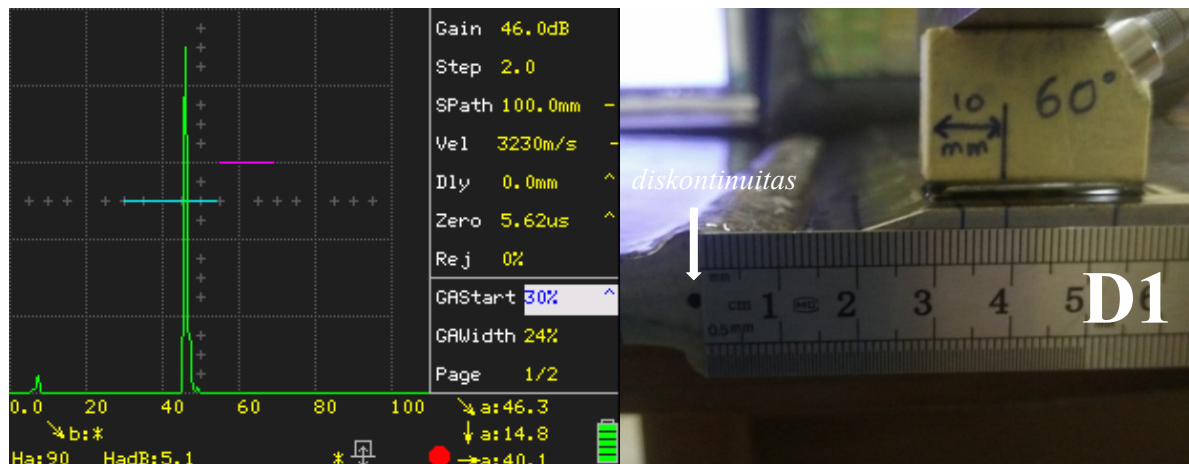
Gambar IV.51. Posisi *probe* 45° pada leg 2 di *chamfered material* dari sisi D1.

Penggunaan *probe* sudut 45° seperti pada Gambar IV.50 dan Gambar IV.51 tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian karena lokasi leg 1 dan leg 2 yang hampir seluruhnya berada pada lokasi *chamfer*. Ketika *probe* akan mencapai leg 1, *probe* mengalami perubahan sudut yang berakibat arah pancaran gelombang ultrasonik tidak seperti yang diharapkan.

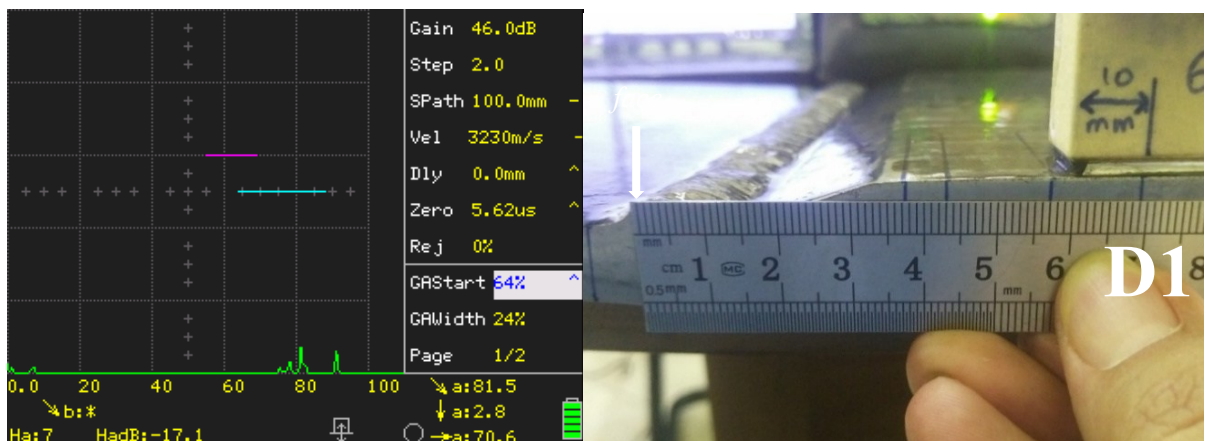
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi D1 :



Gambar IV.52. Indikasi leg 1 pada *chamfered material probe* 60° dari sisi D1.



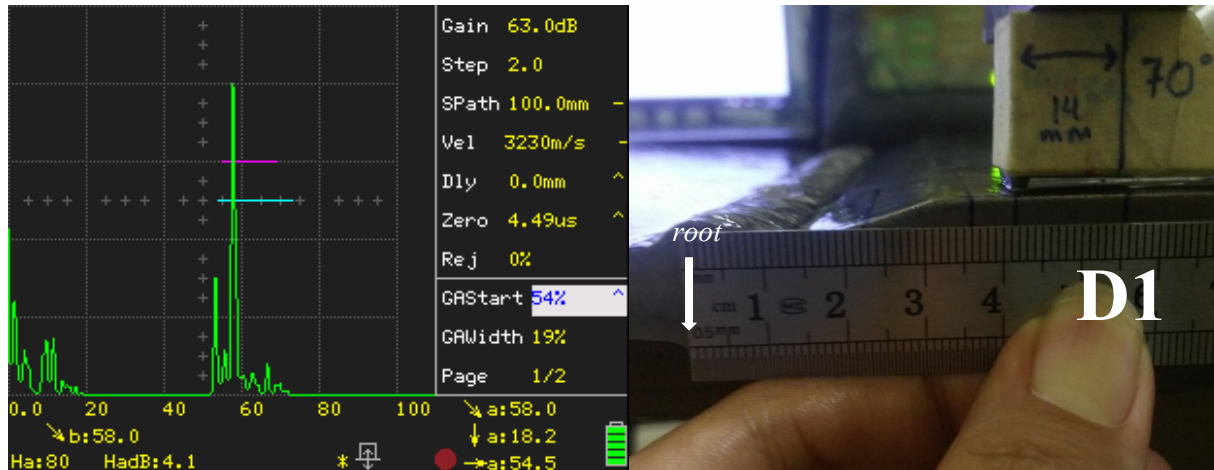
Gambar IV.53. Diskontinuitas 14 mm pada *chamfered material probe* 60° dari sisi D1.



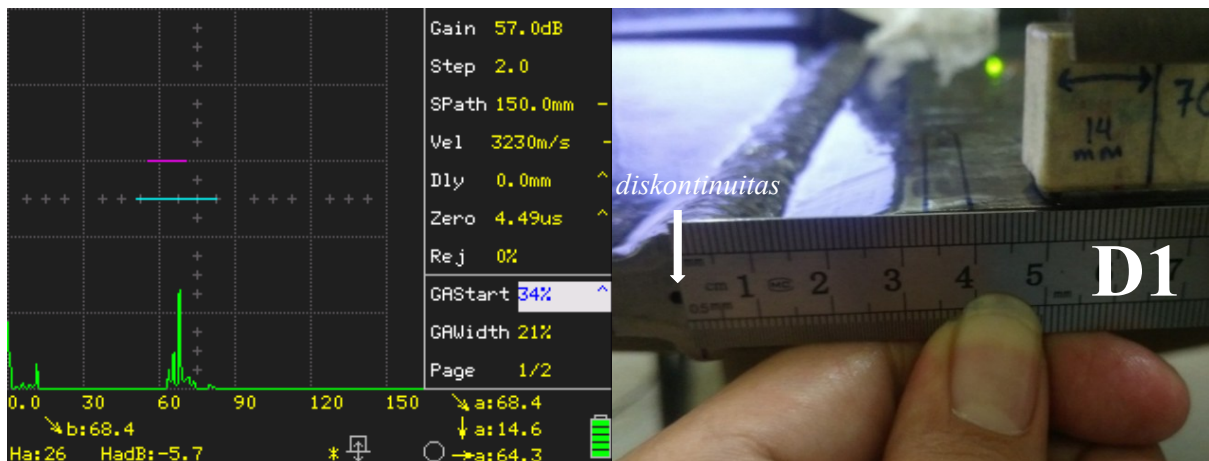
Gambar IV.54. Indikasi leg 2 pada *chamfered material probe* 60° dari sisi D1.

Penggunaan *probe* sudut 60° dari sisi D1 seperti pada Gambar IV.52 dan Gambar IV.54 memungkinkan untuk dilakukan pengujian karena lokasi leg 1 dan leg 2 seluruhnya dapat dijangkau. Diskontinuitas yang terdeteksi sangat akurat.

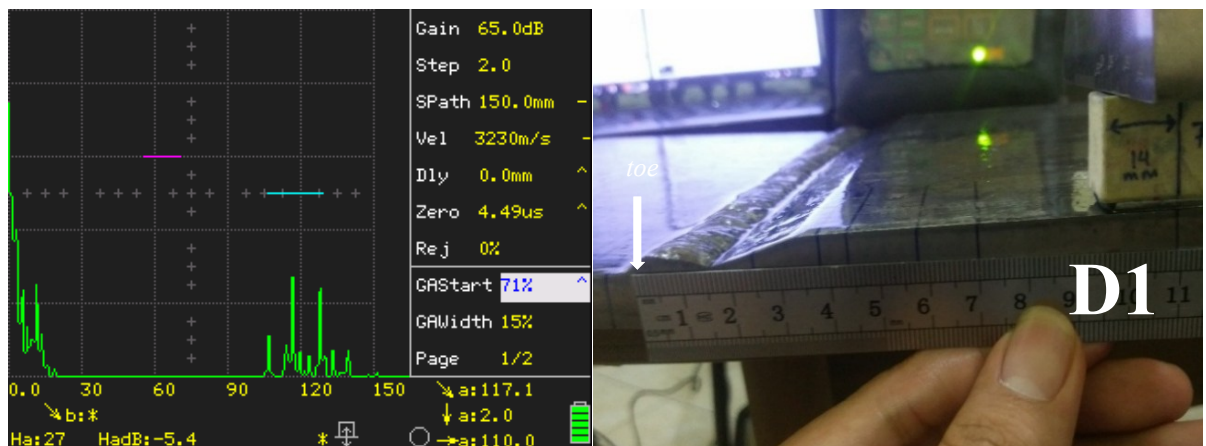
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 70° dari sisi D1 :



Gambar IV.55. Indikasi leg 1 pada *chamfered material probe 70°* dari sisi D1.

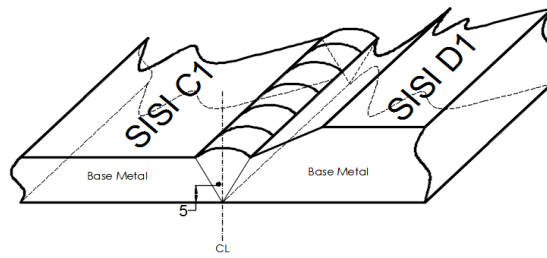


Gambar IV.56. Diskontinuitas 14 mm pada *chamfered material probe 70°* dari sisi D1.



Gambar IV.57. Indikasi pada leg 2 *chamfered material probe 70°* dari sisi D1.

Penggunaan *probe* sudut 70° dari sisi D1 seperti pada Gambar IV.55 sampai Gambar IV.57 sangat baik untuk dilakukan pengujian karena lokasi leg 1 dan leg 2 seluruhnya dapat dijangkau. Diskontinuitas yang terdeteksi sangat akurat. Terdapat indikasi-indikasi yang muncul yang berasal dari *capping*, *root*, dan *toe*.



Gambar IV.58. Pengujian dari sisi C1 dan D1.

Tabel IV.5. Hasil *scanning* dari sisi C1 dan D1 untuk kedalaman diskontinuitas 5 mm.

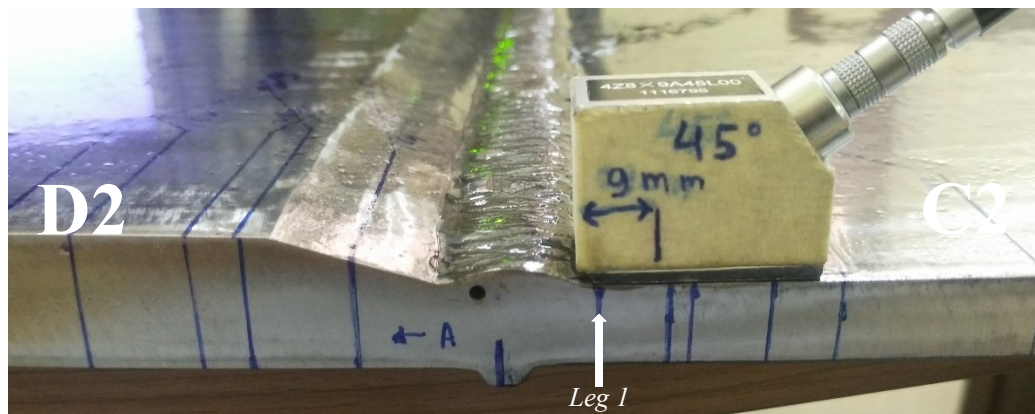
Sisi C1 (t= 12 mm)	Keterangan		SISI D1 (t= 19 mm)
45°			45°
60°			60°
70°			70°

Applicable = Jarak diskontinuitas terhadap
 Not Applicable = base metal : 5 mm

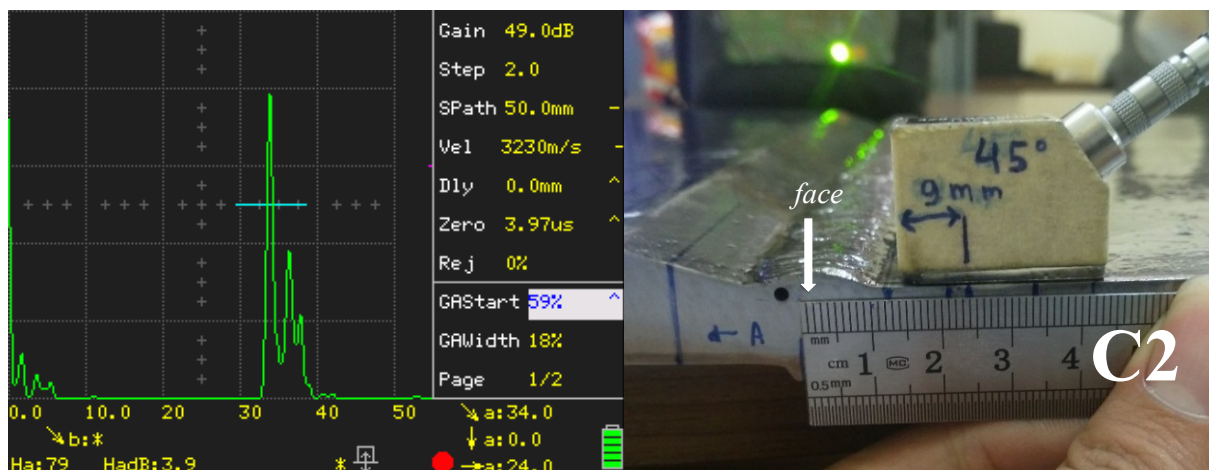
Berdasarkan Tabel IV.5 dan Gambar IV.58 diperoleh data bahwa *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sehingga tidak dapat mencapai leg 1 dengan baik. Pada *scanning* dari sisi D1 *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena *probe* mengalami perubahan sudut pancaran, sehingga gelombang ultrasonik yang dipancarkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dari sisi C1 dan D1 dapat diterapkan dengan baik oleh *probe* sudut 60° dan 70° karena lokasi diskontinuitas yang tidak melebihi tebal material. Jarak dan kedalaman diskontinuitas yang dideteksi kedua *probe* tersebut valid. Kondisi permukaan yang baik dapat mempermudah mengujian. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

IV.4. Hasil Scanning Sisi C2 dan D2 Pada *Chamfered Material*

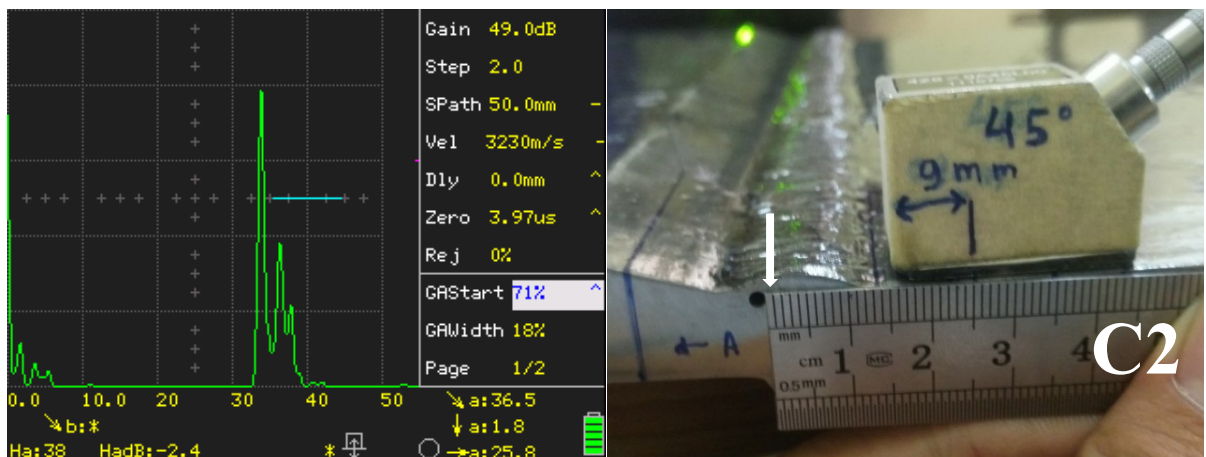
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi C2 :



Gambar IV.59. Probe sudut 45° yang tidak dapat menjangkau leg 1.



Gambar IV.60. Indikasi pada leg 2 di *chamfered material* menggunakan probe 45° sisi C2.

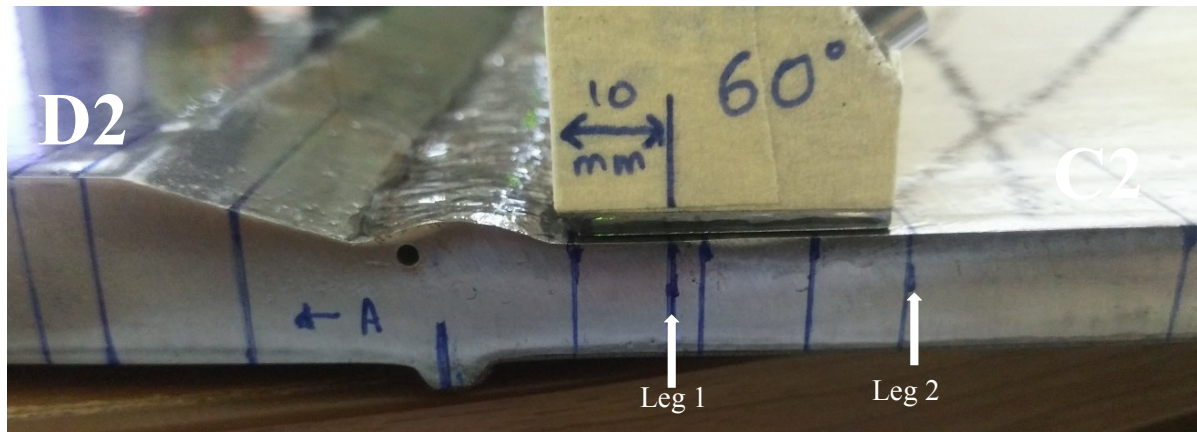


Gambar IV.61. Indikasi yang ikut berasal dari *capping*.

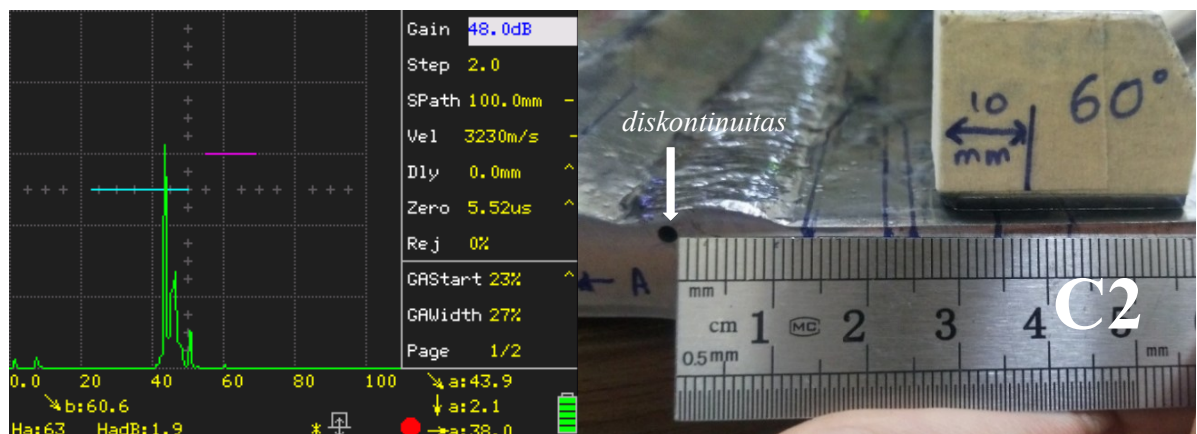
Pada pengujian dari sisi C2 seperti pada Gambar IV.59 sampai Gambar IV.61, *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan dengan baik karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sebelum mencapai leg 1. Lokasi kedalaman diskontinuitas yang ada memiliki jarak yang kurang

dari tebal material yang sedang diuji (C2), sehingga *probe* sudut 45° dapat mendeteksi diskontinuitas dengan baik, tetapi pada lokasi diskontinuitas yang berada pada leg 1 maka *probe* ini tidak dapat diaplikasikan.

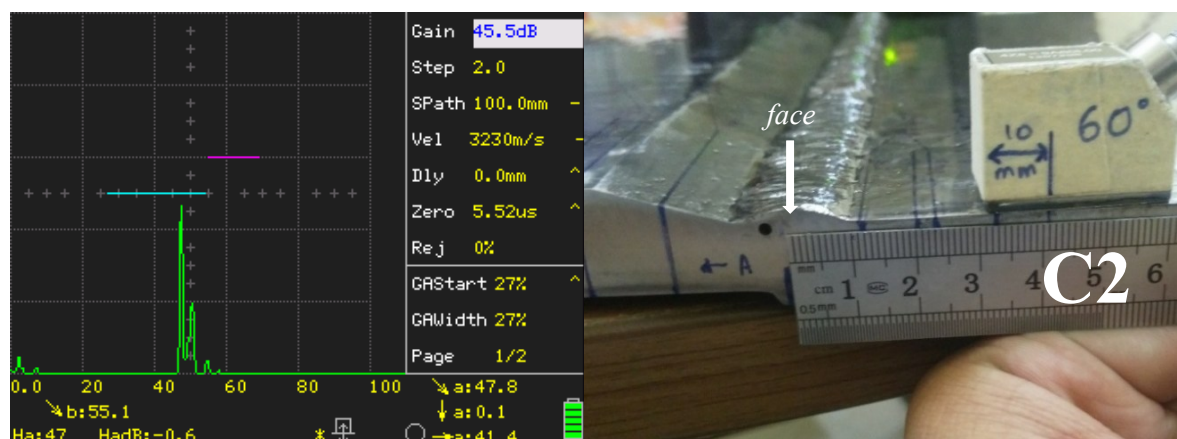
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 60° dari sisi C2 :



Gambar IV.62. *Wedges / sepatu probe* terangkat.



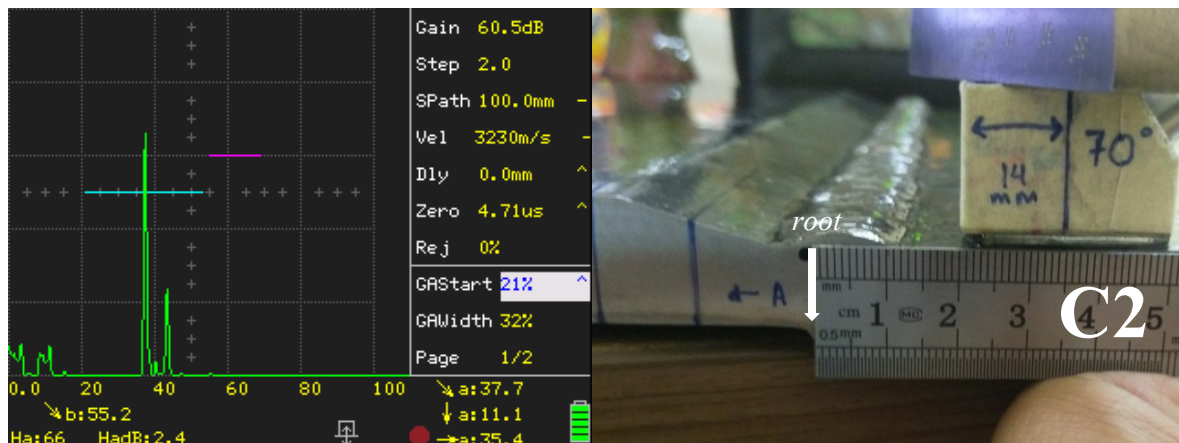
Gambar IV.63. Diskontinuitas 2 mm pada *chamfered material* probe 60° dari sisi C2.



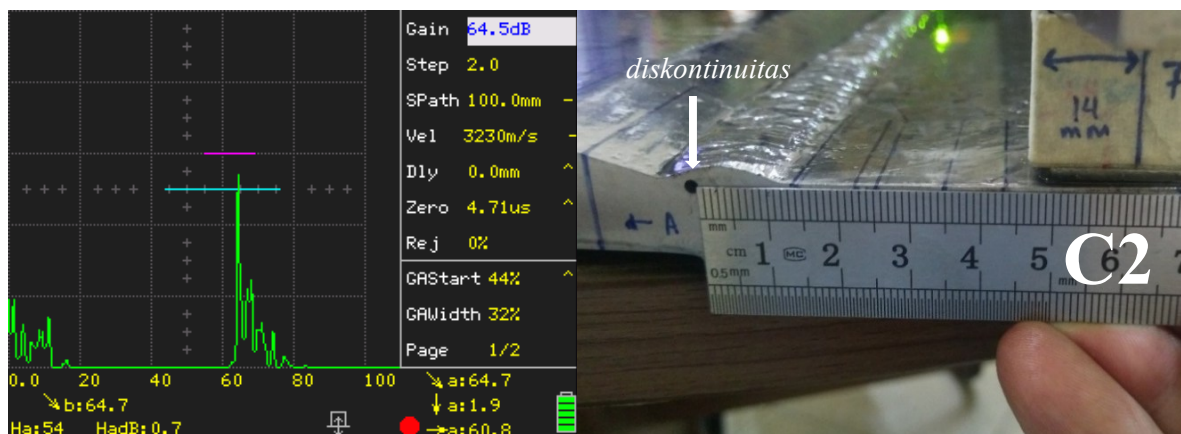
Gambar IV.64. Indikasi leg 2 pada *chamfered material* probe 60° dari sisi C2.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.62 sampai Gambar IV.64, *probe* sudut 60° seharusnya dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Sepatu *probe* sedikit terangkat karena menabrak mahkota las sehingga tidak dapat menjangkau leg 1 dengan baik. Untuk diskontinuitas yang ada, *probe* sudut 60° dapat mendeteksi dengan sangat akurat. Jika terdapat diskontinuitas yang tepat pada leg 1, maka diskontinuitas tersebut sulit dideteksi. *Probe* sudut 60° tidak dapat diaplikasikan pada sisi C2.

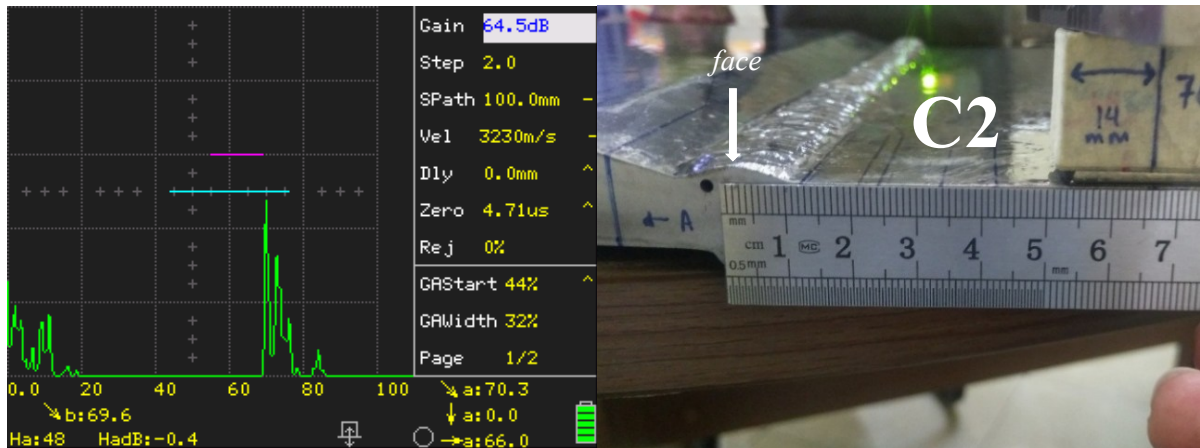
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi C2 :



Gambar IV.65. Indikasi pada leg 2 pada *chamfered material* memakai *probe* 70° dari sisi C2.



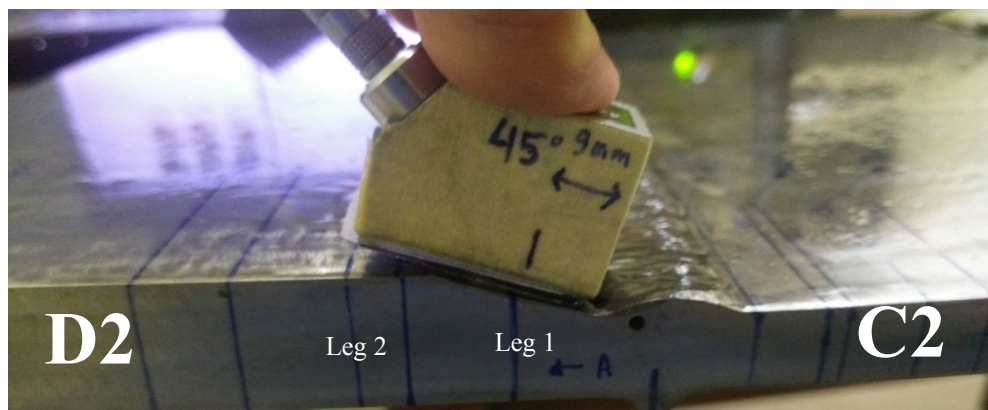
Gambar IV.66. Diskontinuitas 2 mm di *chamfered material* memakai *probe* 70° dari sisi C2.



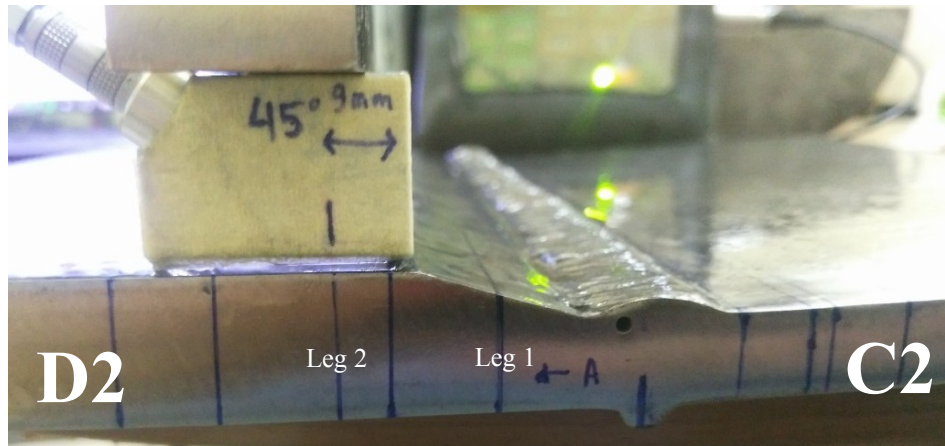
Gambar IV.67. Indikasi pada leg 2 di *chamfered material* menggunakan *probe* 70° sisi C2.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti Gambar IV.65 sampai Gambar IV.67, *probe* sudut 70° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2 dengan baik. Besaran jarak dan kedalaman diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid. Penggunaan *probe* sudut 70° memiliki jangkauan leg 1 dan leg 2 yang lebih luas dari *probe* sudut 45° dan 60°, akan tetapi dibutuhkan ruang/penampang yang lebih luas juga untuk melakukan pengujian. Kedalaman diskontinuitas yang dilakukan pengujian dari sisi C2 ini memiliki ukuran yang kurang dari tebal material sehingga hasil yang didapatkan sangat akurat. Terdapat beberapa indikasi yang muncul yang disebabkan oleh *root*, *capping*, dan *face* dari material uji.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi D2 :



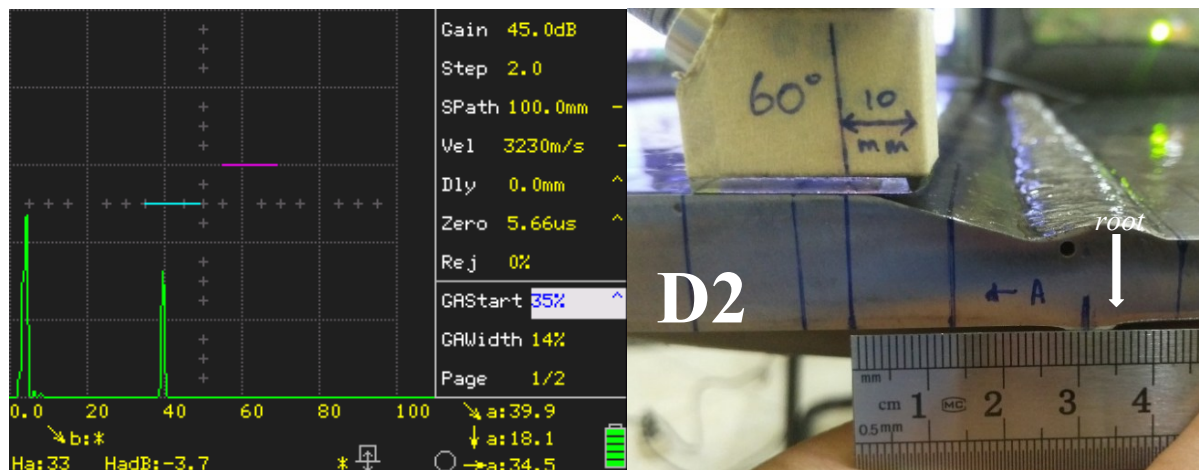
Gambar IV.68. Posisi *probe* miring tidak memungkinkan untuk dilakukan pemeriksaan leg 1.



Gambar IV.69. Posisi *probe* 45° pada *leg 2* di *chamfered material* dari sisi D2.

Penggunaan *probe* sudut 45° seperti pada Gambar IV.68 dan Gambar IV.69 tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian karena lokasi *leg 1* dan *leg 2* yang hampir seluruhnya berada pada lokasi *chamfer*. Ketika *probe* akan mencapai *leg 1*, *probe* mengalami perubahan sudut yang berakibat arah pancaran gelombang ultrasonik tidak seperti yang diharapkan.

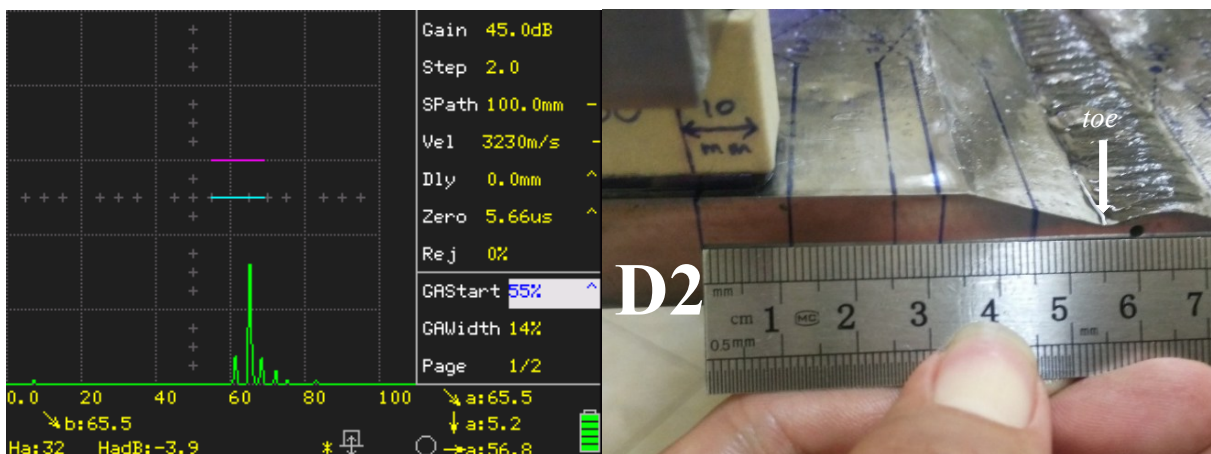
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 60° dari sisi D2 :



Gambar IV.70. Indikasi pada *chamfered material* *leg 1* *probe* 60° dari sisi D2.



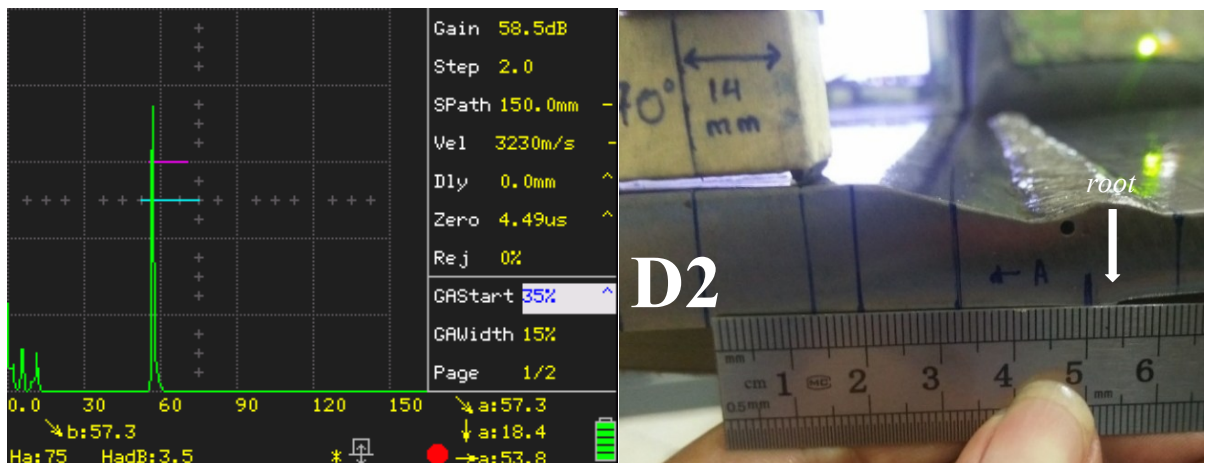
Gambar IV.71. Diskontinuitas 9 mm pada *chamfered material probe* 60° dari sisi D2.



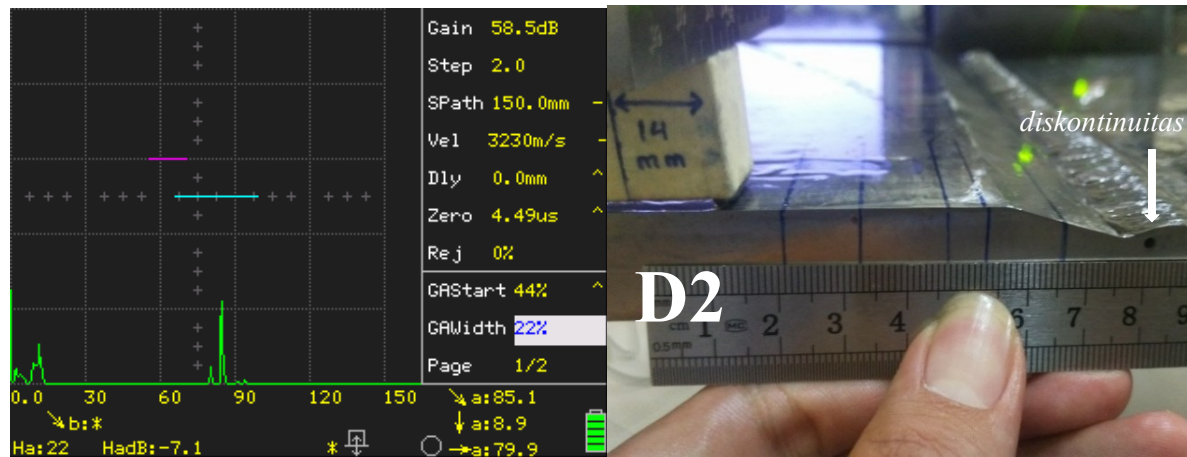
Gambar IV.72. Indikasi leg 2 pada *chamfered material probe* 60° dari sisi D2.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° dari sisi D2 seperti pada Gambar IV.70 sampai Gambar IV.72, *probe* sudut 60° dapat menjangkau leg 1 dan leg 2. Besaran jarak dan kedalaman diskontinuitas yang ditampilkan *unit display* ialah valid . Diskontinuitas yang terdeteksi sangat akurat.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi D2 :



Gambar IV.73. Indikasi pada leg 1 *chamfered material probe* 70° dari sisi D2.

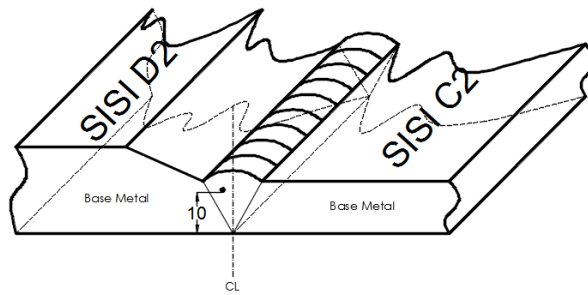


Gambar IV.74. Diskontinuitas 9 mm pada *chamfered material probe 70°* dari sisi D2.



Gambar IV.75. Indikasi leg 2 pada *chamfered material probe 70°* dari sisi D2.

Penggunaan *probe* sudut 70° dari sisi D2 seperti pada Gambar IV.73 Gambar IV.75 sangat baik untuk dilakukan pengujian karena lokasi leg 1 dan leg 2 seluruhnya dapat dijangkau. Diskontinuitas yang terdeteksi sangat akurat. Terdapat indikasi-indikasi yang muncul yang berasal dari *capping*, *root*, dan *toe*. *Probe* sudut 70° dapat mendeteksi dengan jangkauan yang lebih banyak dibandingkan dengan *probe* sudut 45° dan 60° , tetapi membutuhkan luas penampang yang lebih banyak.



Gambar IV.76. Pengujian dari sisi C2 dan D2.

Tabel IV.6. Hasil *scanning* dari sisi C2 dan D2 untuk kedalaman diskontinuitas 10 mm.

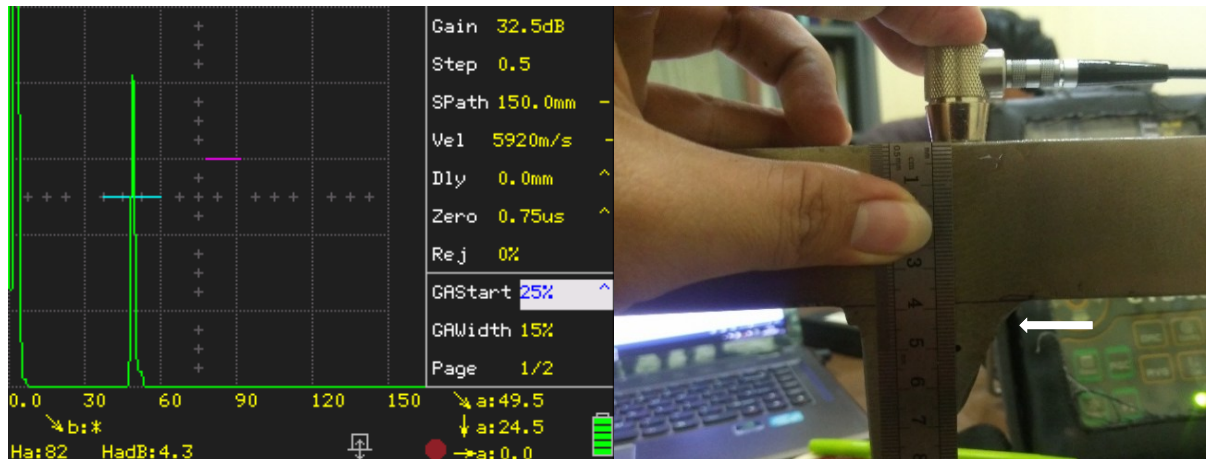
Sisi D2 (t= 19 mm)	Keterangan		SISI C2 (t= 12 mm)
45°			45°
60°			60°
70°			70°

Applicable = Jarak diskontinuitas terhadap
 Not Applicable = base metal : 10 mm

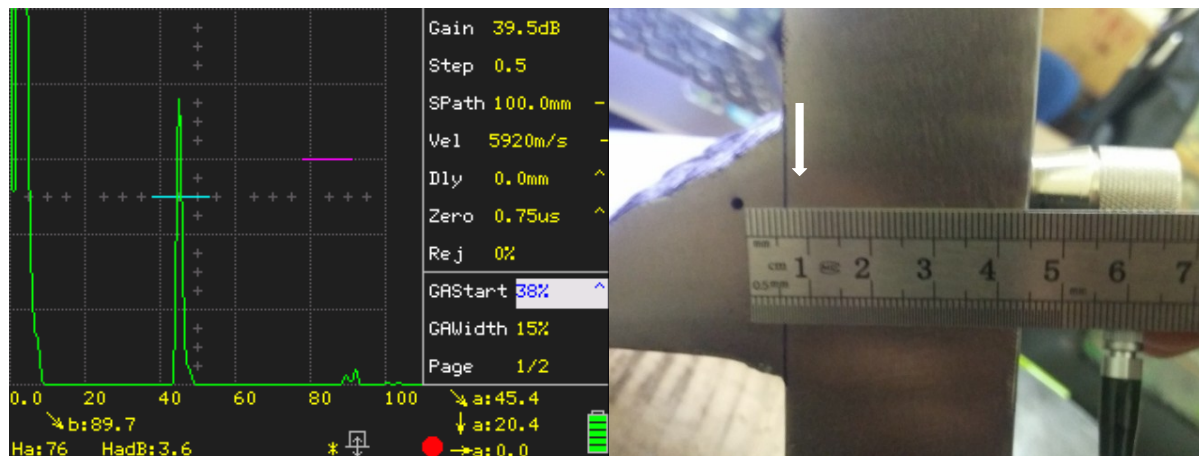
Berdasarkan Tabel IV.6 dan Gambar IV.76 *probe* yang baik dipakai *scanning material* ialah 60° dan 70°. Pada *probe* 45° mengalami perubahan sudut *scan* sehingga gelombang yang dipancarkan sangat tidak valid untuk dilakukan pengujian, disisi yang lebih tipis sepatu *probe* tidak mencapai leg 1. Pada sisi C2 diperoleh data bahwa *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena sepatu *probe* menabrak mahkota las sehingga tidak dapat mencapai leg 1 dengan baik. *Scanning* dari sisi D2 *probe* sudut 45° tidak dapat diterapkan karena *probe* mengalami perubahan sudut pancaran, sehingga gelombang ultrasonik yang dipancarkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dari sisi C2 dan D2 dapat diterapkan dengan baik oleh *probe* sudut 60° dan 70° karena lokasi diskontinuitas yang tidak melebihi tebal material. Jarak dan kedalaman diskontinuitas yang dideteksi kedua *probe* tersebut valid. Kondisi permukaan yang baik dapat mempermudah mengujian. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

IV.5. Pengelasan T Joint

Dalam pengelasan T Join terdapat 2 diskontinuitas yang diuji dengan kedalaman 50 dan 46 mm dari material induk.



Gambar IV.77. Diskontinuitas dengan kedalaman 50 mm menggunakan *probe normal*.

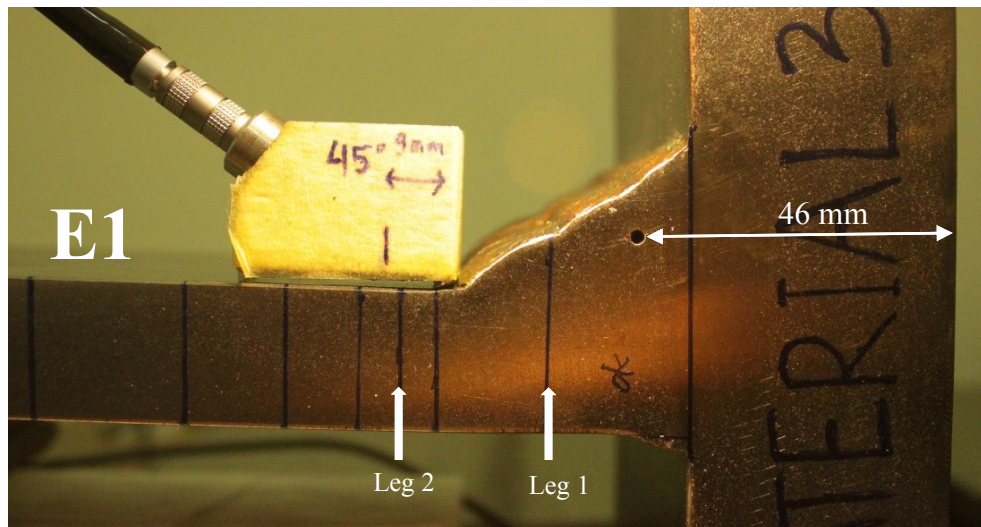


Gambar IV.78. Diskontinuitas dengan kedalaman 46mm menggunakan *probe normal*.

Diskontinuitas yang telah dibuat diukur terlebih dahulu menggunakan *probe normal* seperti pada Gambar IV.77 dan Gambar IV.78. Untuk kondisi di lapangan kita biasanya belum mengetahui ada atau tidaknya suatu diskontinuitas maka dilakukan pengecekan dengan *probe normal* terlebih dahulu untuk menentukan salah satu koordinat diskontinuitas. Penggunaan *probe normal* tidak memiliki *acceptance criteria* pada AWS maka selanjutnya diteliti lebih lanjut menggunakan *probe sudut*. Setelah diskontinuitas terdeteksi maka ditandai dan dapat dibuat sketsa leg 1 dan leg 2 untuk dilakukan pengecekan menggunakan *probe sudut*.

IV.6. Hasil Scanning Sisi E1 Pada material T Joint

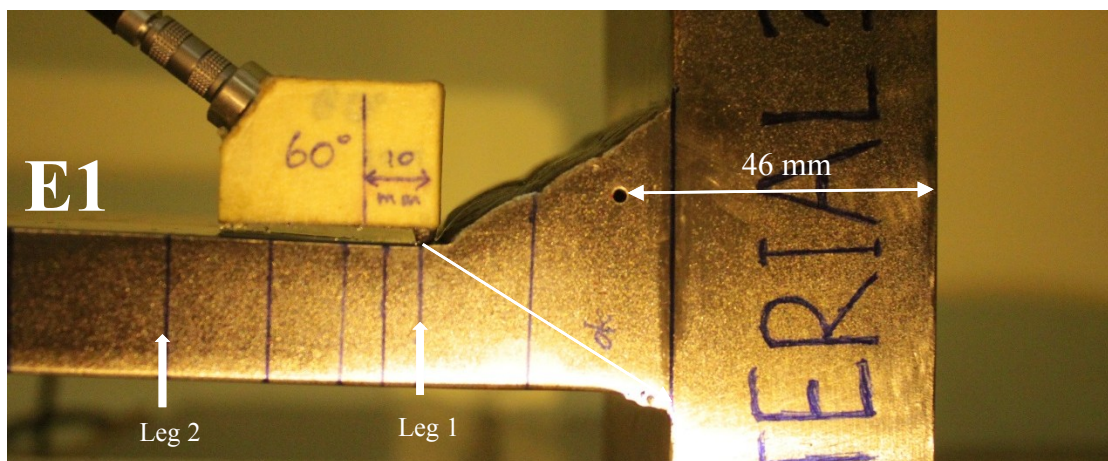
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi E1 :



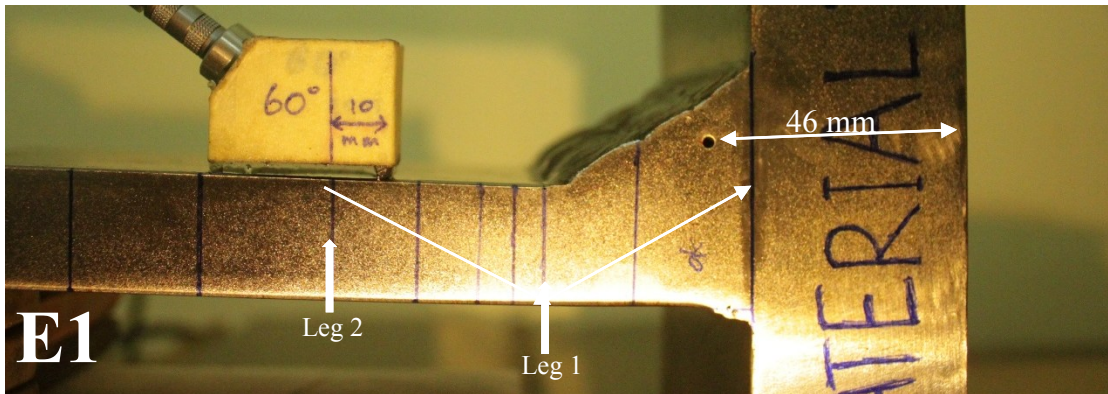
Gambar IV.79. *Wedges / sepatu probe 45° tidak dapat mencapai leg 2.*

Pada penggunaan probe sudut 45° seperti pada Gambar IV.79, probe sudut 45° tidak dapat mencapai leg 1 karena sepatu probe menabrak mahkota las. Penggunaan probe sudut 45° sangat tidak bisa diaplikasikan.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi E1 :



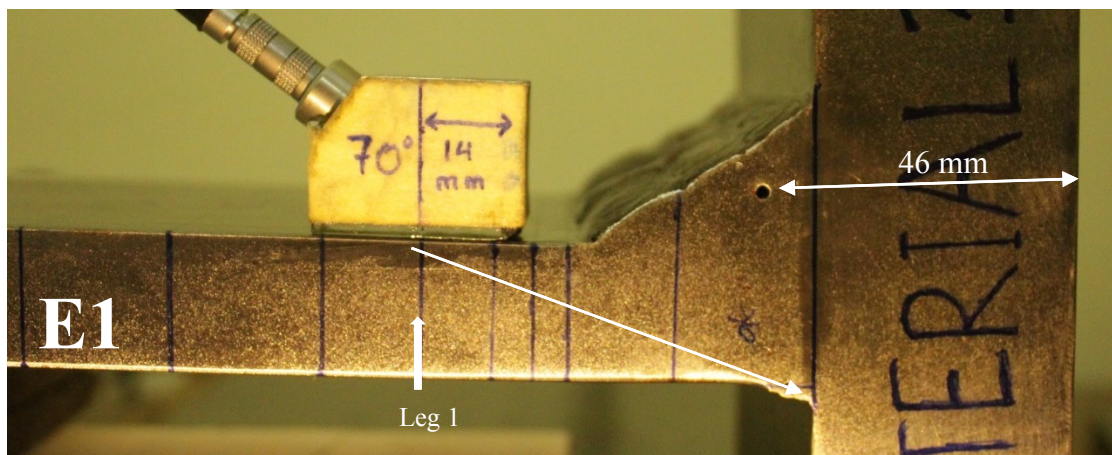
Gambar IV.80. *Scanning pada leg 1 probe 60° wedges tidak dapat mencapai leg 1.*



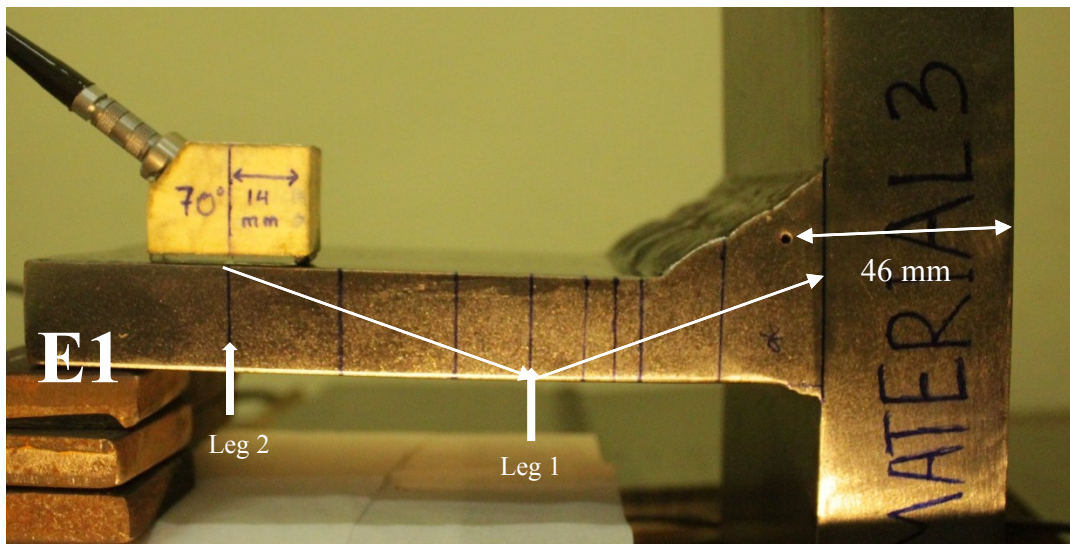
Gambar IV.81. *Scanning* antara leg 1 dan leg 2 tidak dapat mencapai diskontinuitas.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.80 dan Gambar IV.81, *probe* sudut 60° tidak dapat mencapai leg 1 karena sepatu *probe* menabrak mahkota las. Penggunaan *probe* sudut 60° ketika tepat pada leg 2 juga tidak dapat mencapai diskontinuitas.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi E1 :



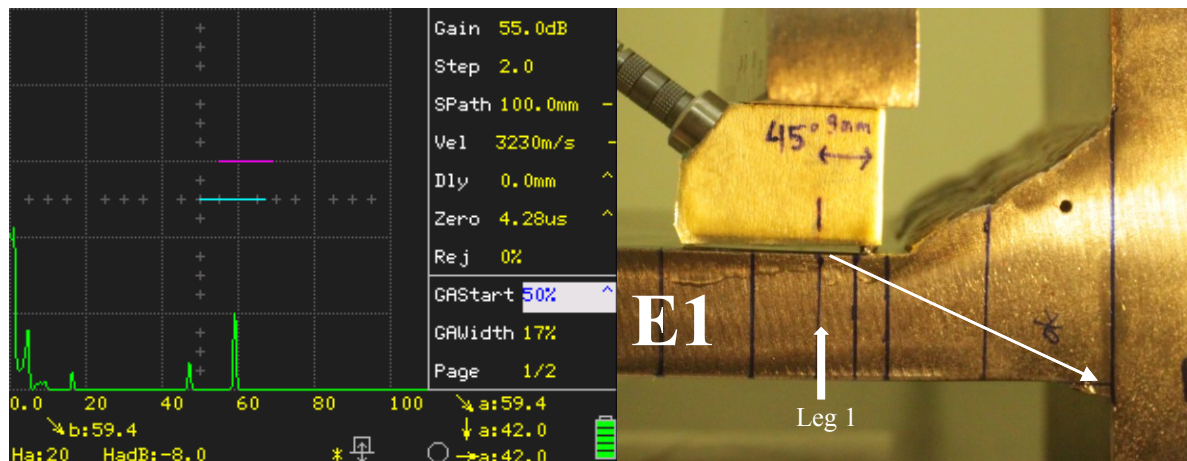
Gambar IV.82. Posisi *probe* 70° pada leg 1 di meterial 3 dari sisi E1.



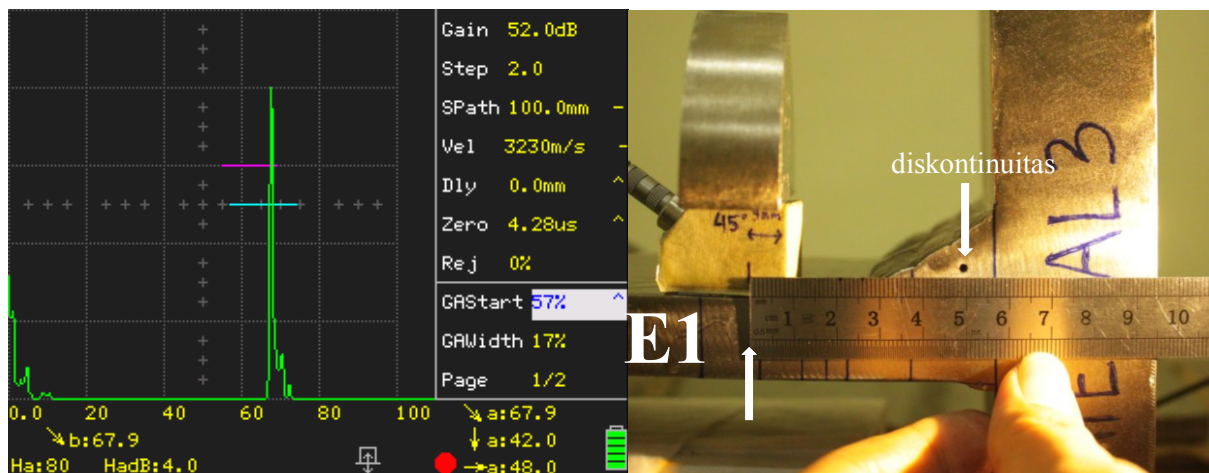
Gambar IV.83. Posisi *probe* 70° pada leg 2 di material 2 dari sisi E1.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti pada Gambar IV.82 dan Gambar IV.83, *probe* sudut 70° dapat mencapai leg 1 dengan baik. *Probe* sudut 70° tidak dapat diaplikasikan karena sampai leg 2 pun diskontinuitas yang ada tidak dapat terjangkau sama sekali.

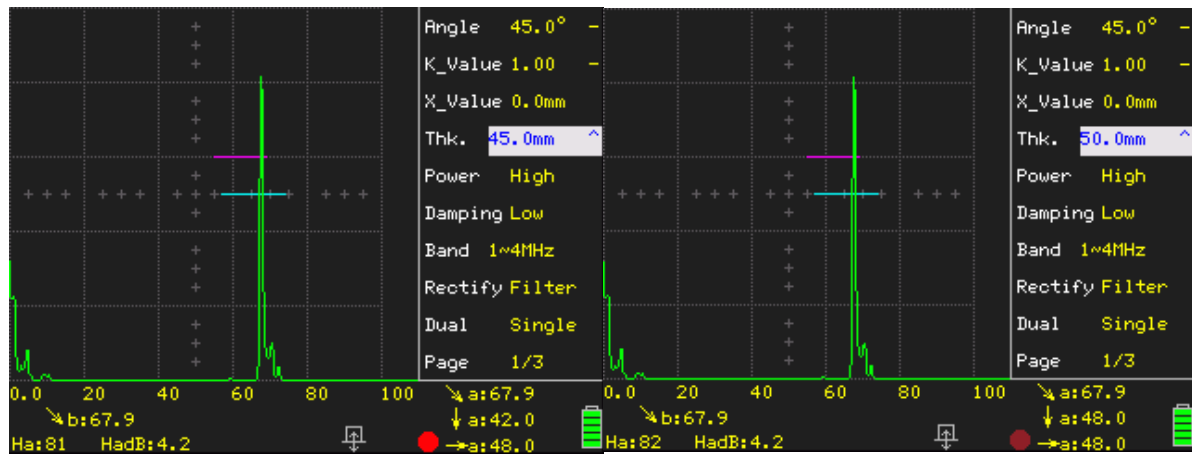
Gambar IV.84 sampai Gambar IV.87 adalah pengecekan dengan menggunakan tebal material 45 mm untuk membuat leg 1 dan leg 2, serta pada alat SIUI dimasukkan tebal material 45 mm dari yang sebelumnya tebal material berukuran $t = 20$ mm. Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi E1 dengan tebal material di alat 45 mm :



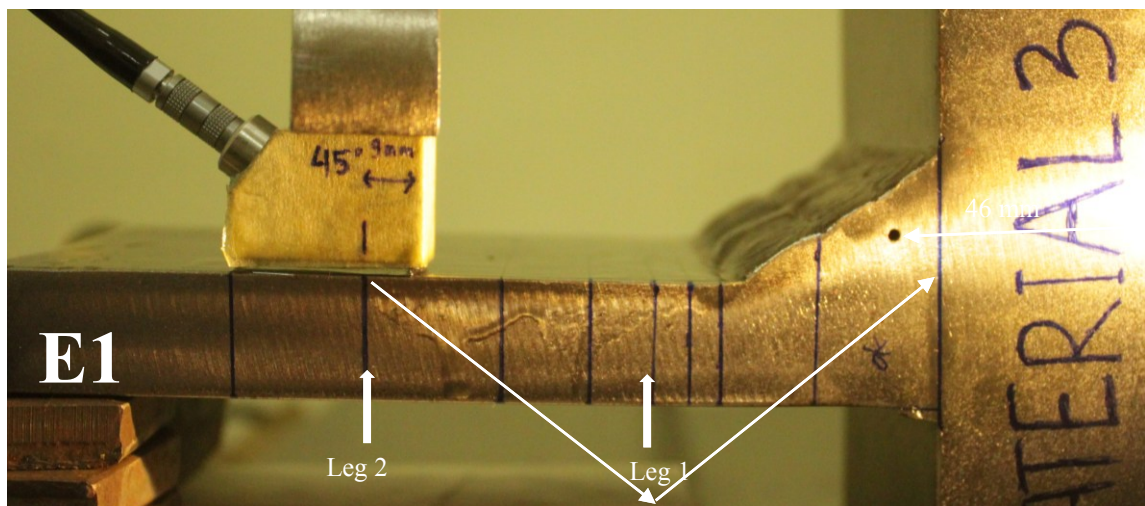
Gambar IV.84. Posisi *probe* 45° pada leg 1.



Gambar IV.85. Diskontinuitas yang terbaca akurat (48 mm), tetapi kedalaman tidak akurat.



Gambar IV.86. Diskontinuitas tetap tetap terbaca 48 mm walaupun ketebalan sudah ditambah.



Gambar IV.87. Posisi *probe* 45° pada leg 2 di material 3 dari sisi E1.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° dari sisi E1 dengan menggunakan $t=45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 dan memasukkannya pada alat SIUI seperti pada Gambar IV.84 sampai Gambar IV.87, *probe* sudut 45° tidak bisa diaplikasikan. Hal ini dikarenakan melalui leg 2 *probe* sudut 45° tidak dapat membaca kedalaman dengan valid. Gelombang ultrasonik yang dihasilkan *probe* sudut 45° seharusnya terpantul dengan baik sesuai sudut yang dibentuk dengan $t=45$ mm, tetapi t (tebal material) kenyataannya ialah 20 mm sehingga pantulan gelombang ultrasonik tidak seperti yang diharapkan.

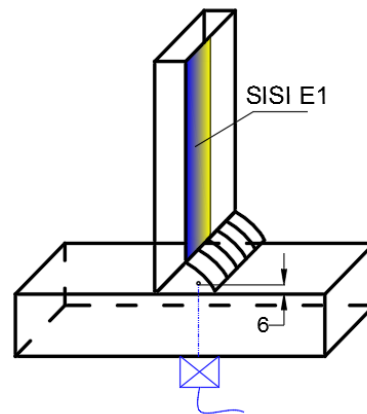
Tabel IV.7. Hasil pengujian dari sisi E1 *T joint* dengan $t = 20$ mm.

Sisi E1 ($t = 20$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

Applicable =
 Not Applicable =

Tabel IV.8. Hasil pengujian dari sisi E1 *T joint* dengan $t = 45$ mm.

Sisi E1 ($t = 45$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		

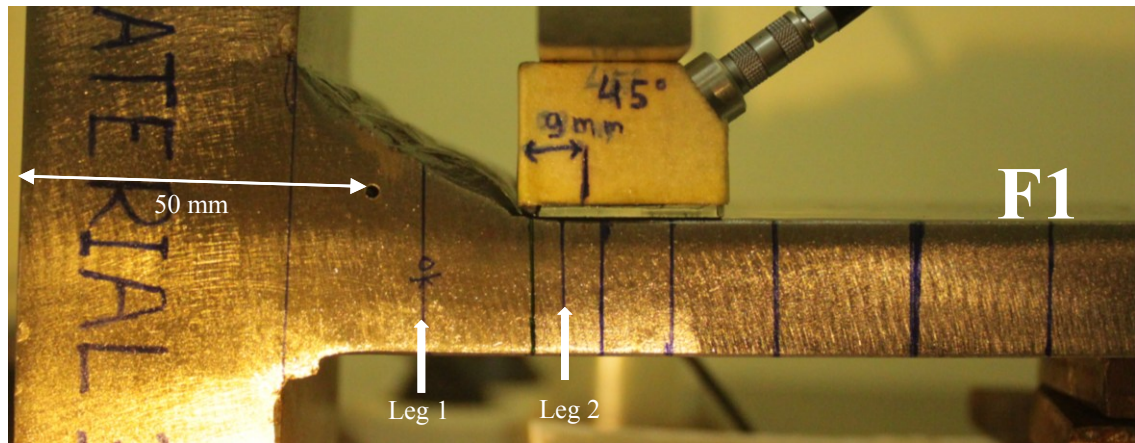


Gambar IV.88. Pengujian dari sisi E1.

Berdasarkan Tabel IV.7 semua *probe* pada pengujian dari sisi E1 menunjukkan tidak ada indikasi yang terdeteksi pada layar, hal ini dikarenakan lokasi diskontinuitas berada diluar area leg 1 dan leg 2. Seperti Gambar IV.79 sampai dengan Gambar IV.83 menunjukkan ilustrasi arah pancaran gelombang ultrasonik tidak dapat mencapai lokasi diskontinuitas. Pada penggunaan tebal material $t = 45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 serta memasukkan tebal material tersebut pada alat diskontinuitas dapat terdeteksi dengan jarak yang valid, tetapi kedalaman diskontinuitas tidak valid. Hal ini karena pantulan gelombang ultrasonik seharusnya tepat pada kedalaman 45 mm, tetapi pada kenyataannya hanya 20 mm saja seperti terlihat pada Gambar IV.87 dan Tabel IV.8. *Probe* 60° dan 70° tidak dapat digunakan karena leg 1 dan leg 2 yang dihasilkan sangat jauh, sehingga hasil yang diperoleh menjadi kurang *applicable* dan membutuhkan ruang dan panjang material yang lebih. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

IV.7. Hasil Scanning Sisi F1 Pada Material T Joint

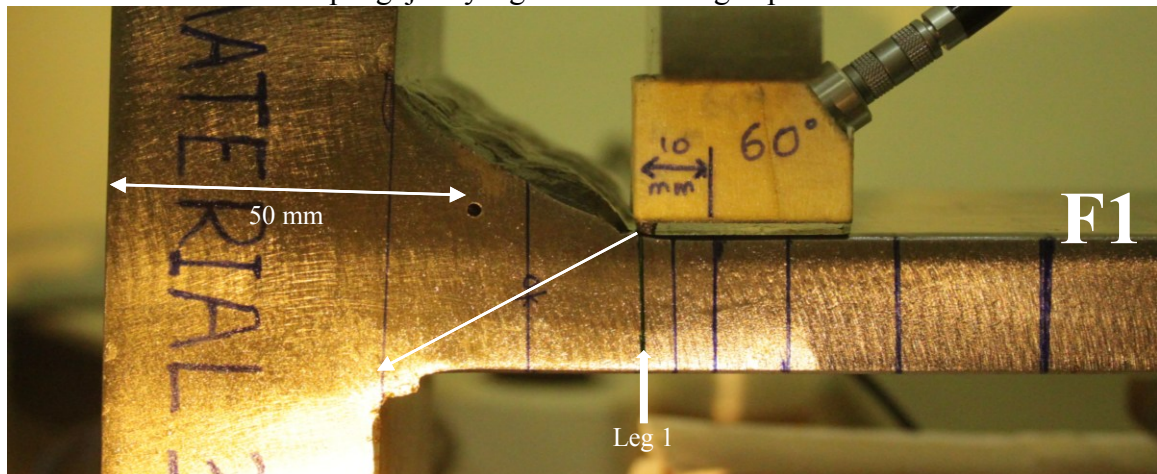
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi F1 :



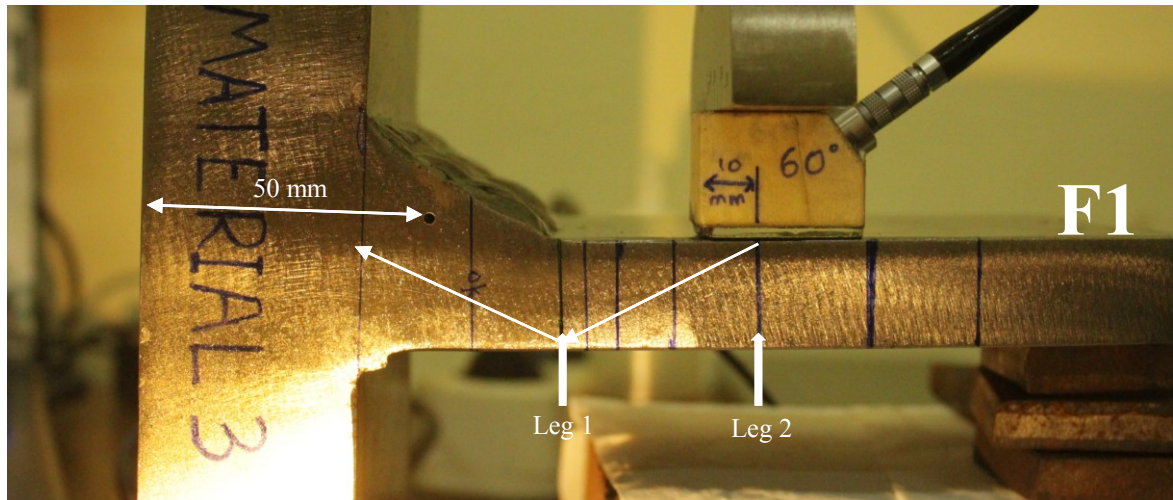
Gambar IV.89. Probe 45° tidak dapat mencapai leg 2.

Pada penggunaan probe sudut 45° seperti pada Gambar IV.89, probe sudut 45° tidak dapat mencapai leg 1 karena sepatu probe menabrak mahkota las. Penggunaan probe sudut 45° sangat tidak bisa diaplikasikan.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi F1 :



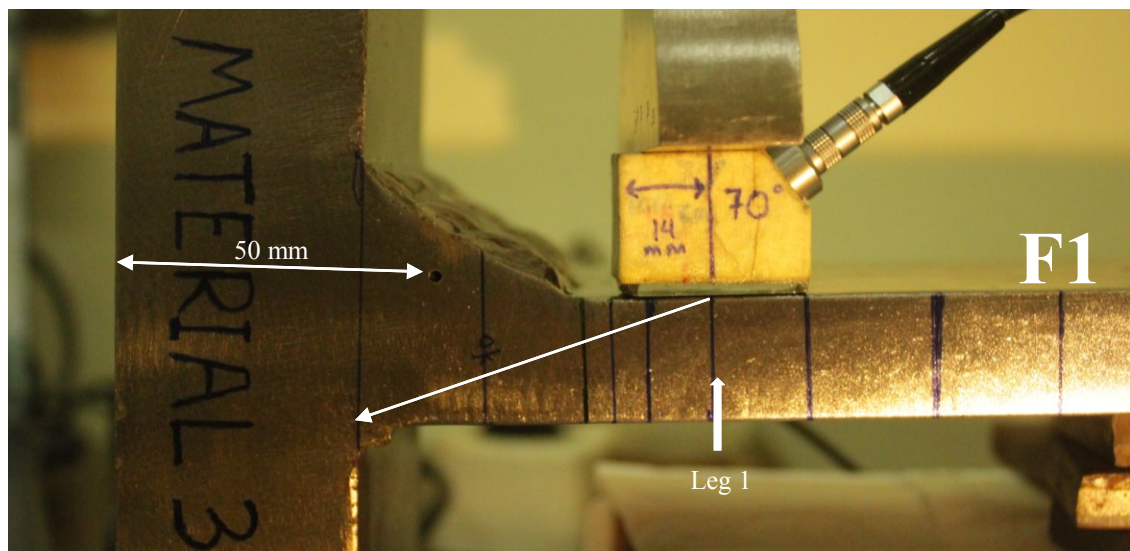
Gambar IV.90. Probe 60° tidak dapat mencapai leg 1 dari sisi F1.



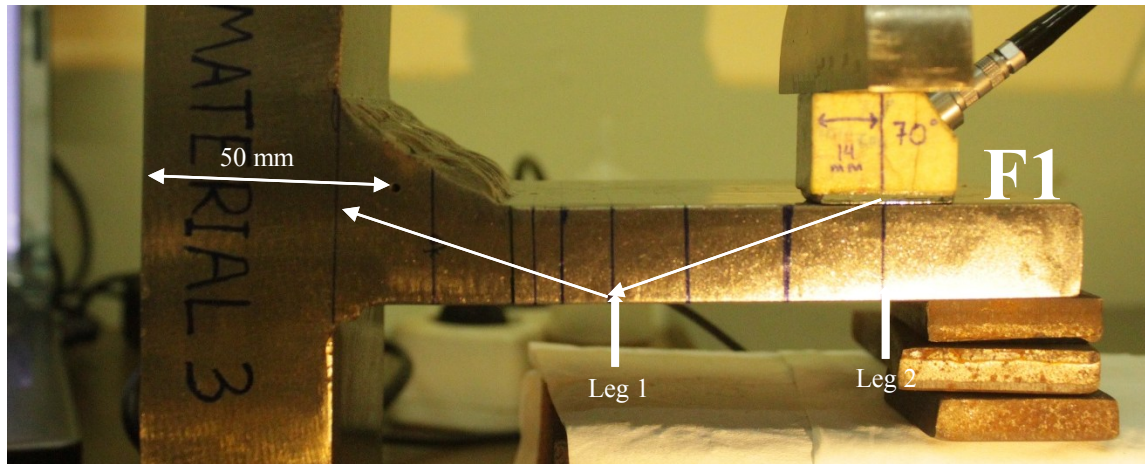
Gambar IV.91. Posisi *probe* 60° pada leg 2 di material 3 dari sisi F1.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.90 dan Gambar IV.91, *probe* sudut 60° tidak dapat mencapai leg 1 karena sepatu *probe* menabrak mahkota las. Penggunaan *probe* sudut 60° ketika tepat pada leg 2 juga tidak dapat mencapai diskontinuitas.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi F1 :



Gambar IV.92. Posisi *scanning* leg 1 menggunakan *probe* 70°.

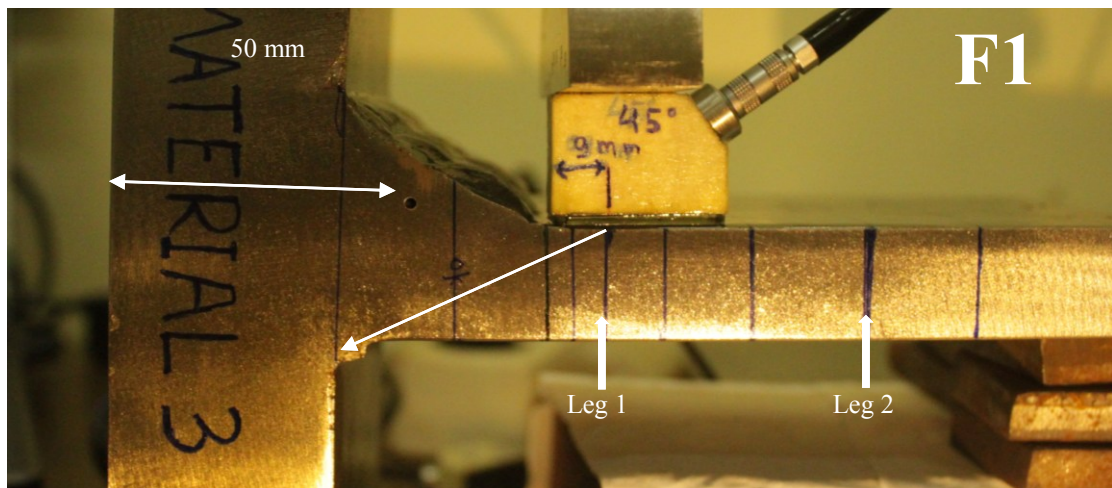


Gambar IV.93. Posisi *scanning* leg 2 menggunakan probe 70°.

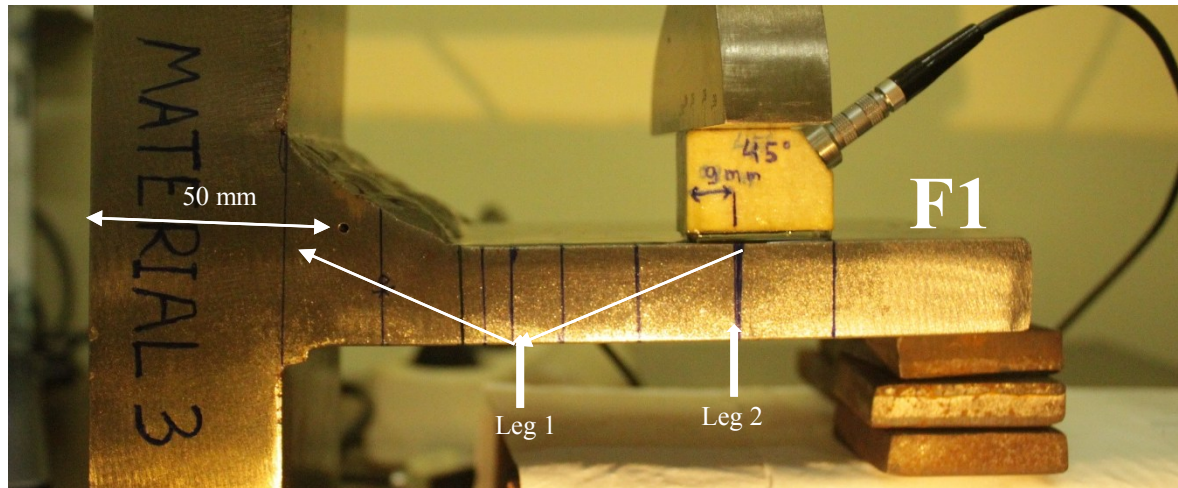
Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti pada Gambar IV.92 dan Gambar IV.93, *probe* sudut 70° dapat mencapai leg 1 dengan baik. *Probe* sudut 70° tidak dapat diaplikasikan karena sampai leg 2 pun diskontinuitas yang ada tidak dapat terjangkau sama sekali

Gambar IV.94 sampai Gambar IV.96 adalah pengecekan dengan menggunakan tebal material 45 mm untuk membuat leg 1 dan leg 2, serta pada alat SIUI dimasukkan tebal material 45 mm dari yang sebelumnya tebal material berukuran $t = 20$ mm.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi F1 dengan tebal material dimasukan pada alat 45 mm :



Gambar IV.94. Posisi *probe* 45° pada leg 1 dengan $t = 45$ mm.



Gambar IV.95. Posisi *probe* 45° pada leg 2 dengan $t = 45$ mm.





Gambar IV.96. Jarak diskontinuitas yang terdeteksi valid, tetapi kedalaman tidak valid.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° dari sisi F1 dengan menggunakan $t=45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 dan memasukkannya pada alat SIUI seperti pada Gambar IV.94 sampai Gambar IV.96, *probe* sudut 45° tidak bisa diaplikasikan. Hal ini dikarenakan melalui leg 2 *probe* sudut 45° tidak dapat membaca kedalaman dengan valid. Gelombang ultrasonik yang dihasilkan *probe* sudut 45° seharusnya terpantul dengan baik sesuai sudut yang dibentuk dengan $t=45$ mm, tetapi t (tebal material) kenyataannya ialah 20 mm sehingga pantulan gelombang ultrasonik tidak seperti yang diharapkan.

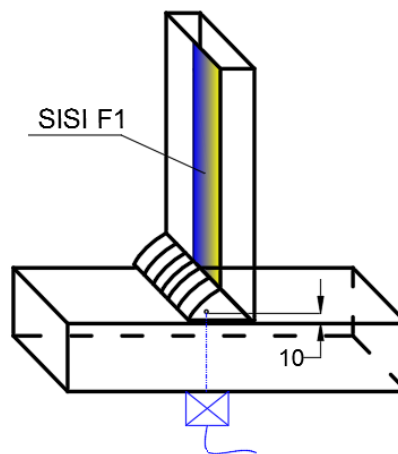
Tabel IV.9. Hasil pengujian dari sisi F1 material *T joint* dengan $t = 20$ mm.

Sisi F1 ($t = 20$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

Applicable = 
Not Applicable = 

Tabel IV.10. Hasil pengujian dari sisi F1 material *T joint* dengan $t = 45$ mm.

Sisi E1 ($t = 45$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		

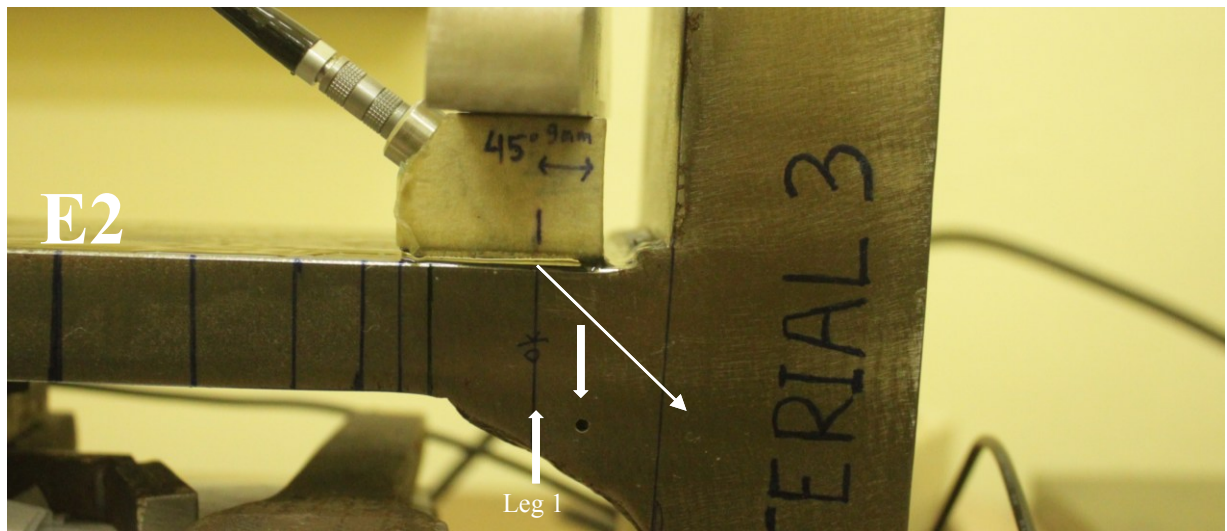


Gambar IV.97. Pengujian dari sisi F1.

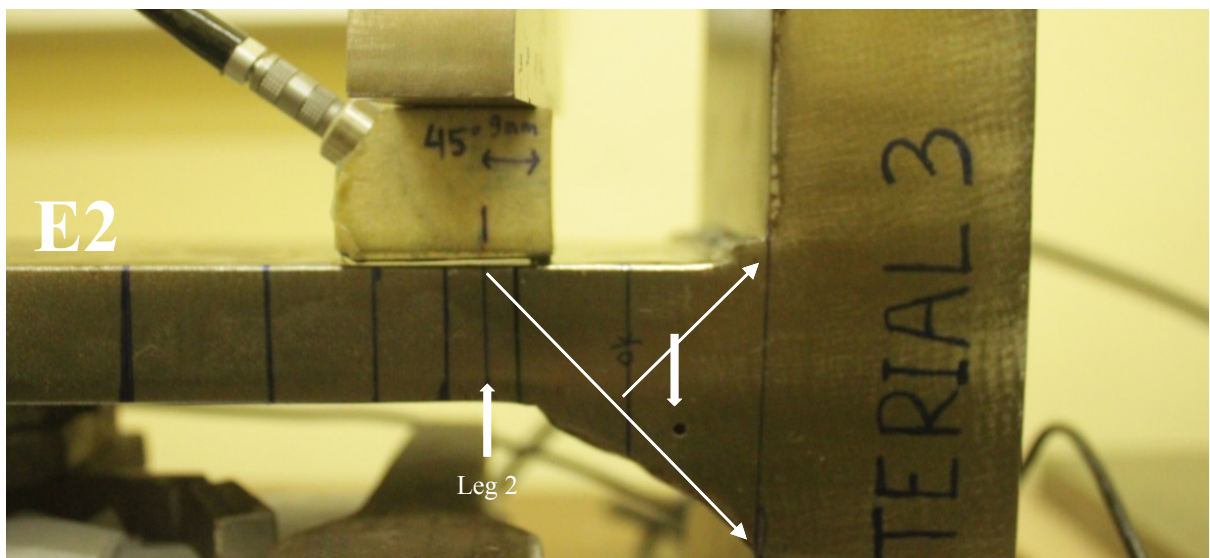
Berdasarkan Tabel IV.9 semua *probe* pada pengujian dari sisi F1 menunjukkan tidak ada indikasi yang terdeteksi pada layar, hal ini dikarenakan lokasi diskontinuitas berada diluar area leg 1 dan leg 2. Gambar IV.89 sampai dengan Gambar IV.93 menunjukkan ilustrasi arah pancaran gelombang ultrasonik tidak dapat mencapai lokasi diskontinuitas. Penggunaan *probe* 45° dan 60° tidak dapat diterapkan karena sepatu *probe* menabrak mahkota las. Pada penggunaan tebal material $t = 45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 serta memasukkan tebal material tersebut pada alat diskontinuitas dapat terdeteksi dengan jarak yang valid, tetapi kedalaman diskontinuitas tidak valid. Hal ini karena pantulan gelombang ultrasonik seharusnya tepat pada kedalaman 45 mm, tetapi pada kenyataannya hanya 20 mm saja seperti terlihat pada Gambar IV.96 dan Tabel IV.10. *Probe* 60° dan 70° tidak digunakan karena leg 1 dan leg 2 yang dihasilkan sangat jauh, sehingga hasil yang diperoleh menjadi kurang *applicable* dan membutuhkan ruang dan panjang material yang lebih. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan.

IV.8. Hasil Scanning Sisi E2 Pada Material *T Joint*

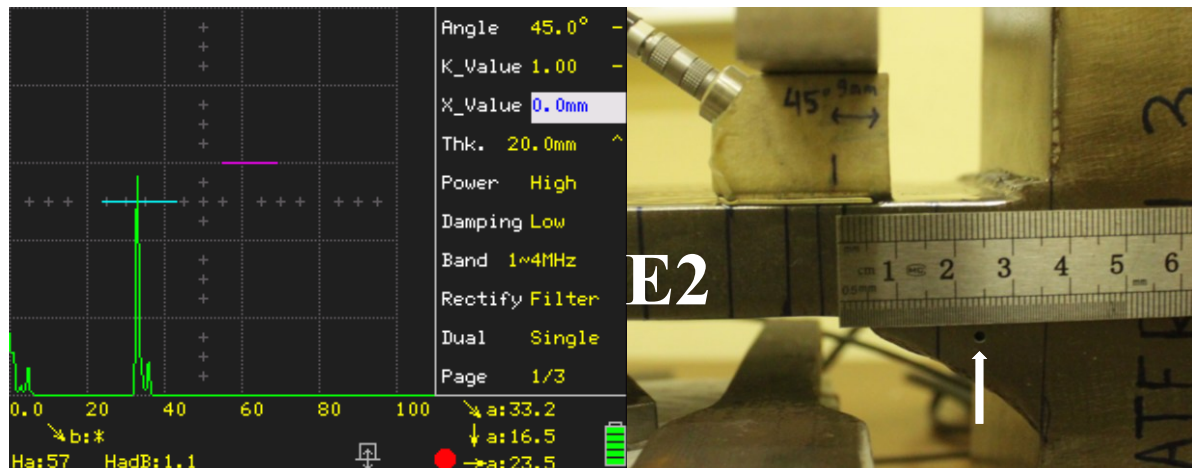
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi E2 :



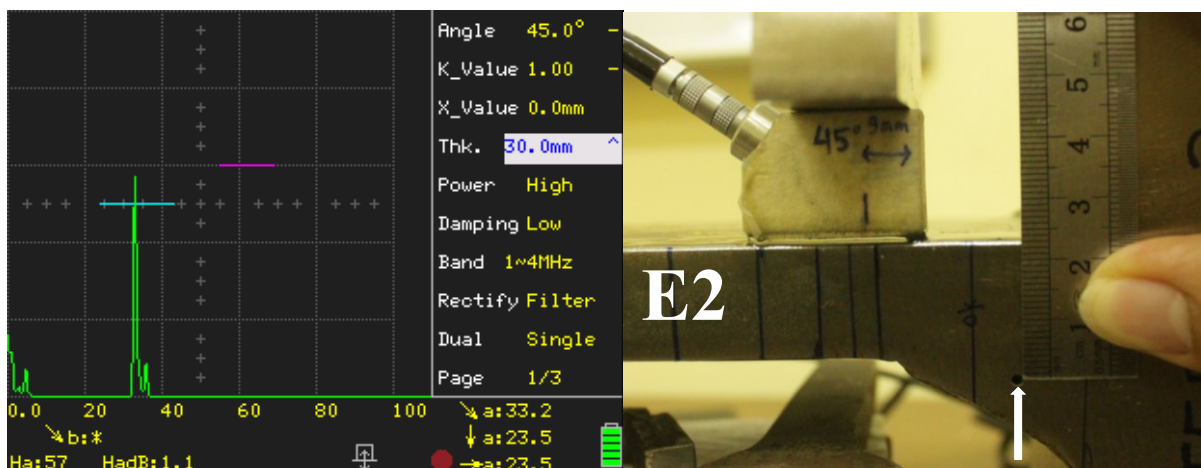
Gambar IV.98. Posisi probe 45° pada leg 1 di material 3 dari sisi E2.



Gambar IV.99. Posisi probe 45° pada leg 2 di material 3 dari sisi E2.



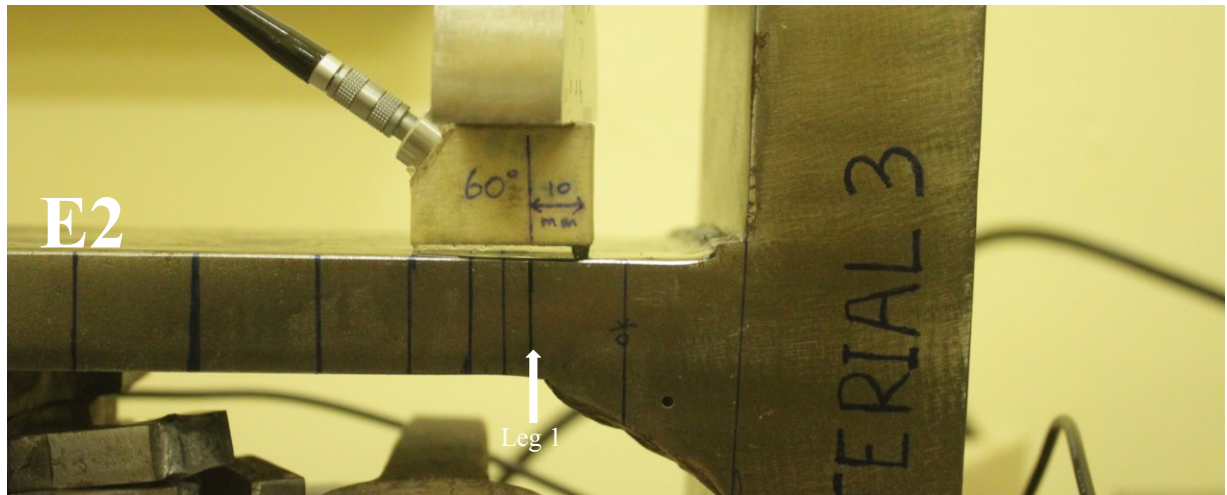
Gambar IV.100. Jarak yang akurat tetapi kedalaman diskontinuitas yang tidak valid.



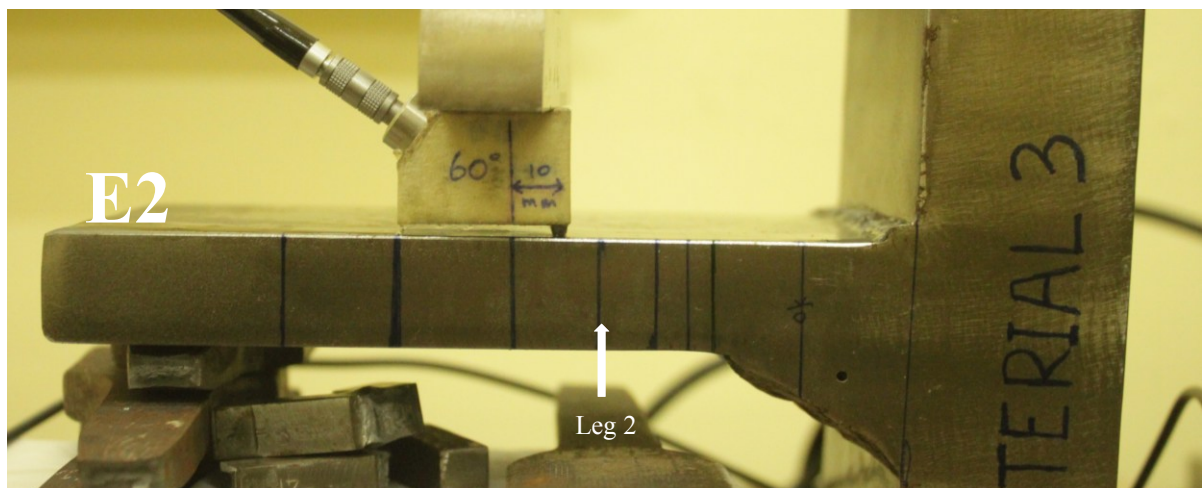
Gambar IV.101. Kedalaman dan jarak menjadi valid setelah *thickness* material ditambahkan.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° seperti pada Gambar IV.98 sampai Gambar IV.101, *probe* sudut 45° dapat menjangkau diskontinuitas melalui leg 1. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu penggunaan *probe* sudut 45° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi E2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat.

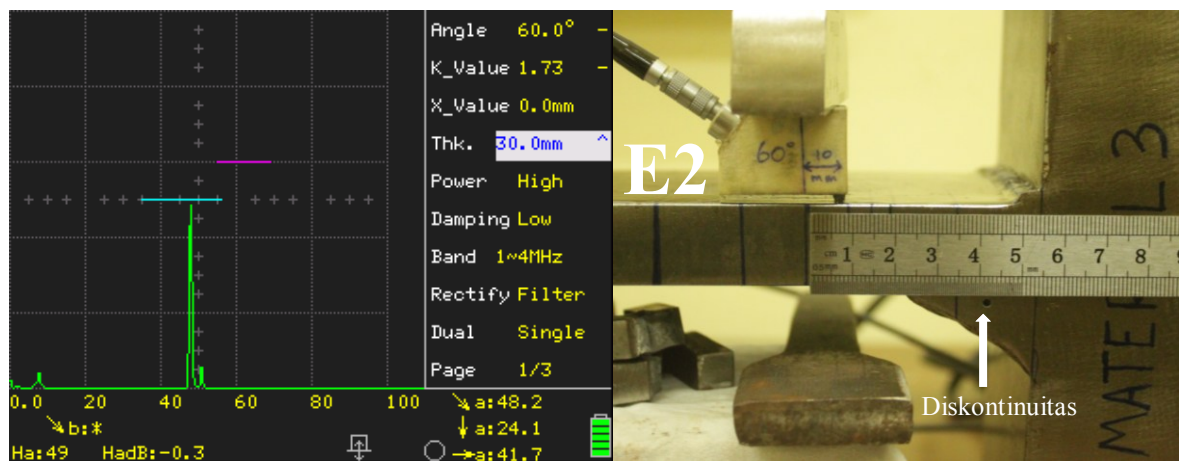
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi E2 :



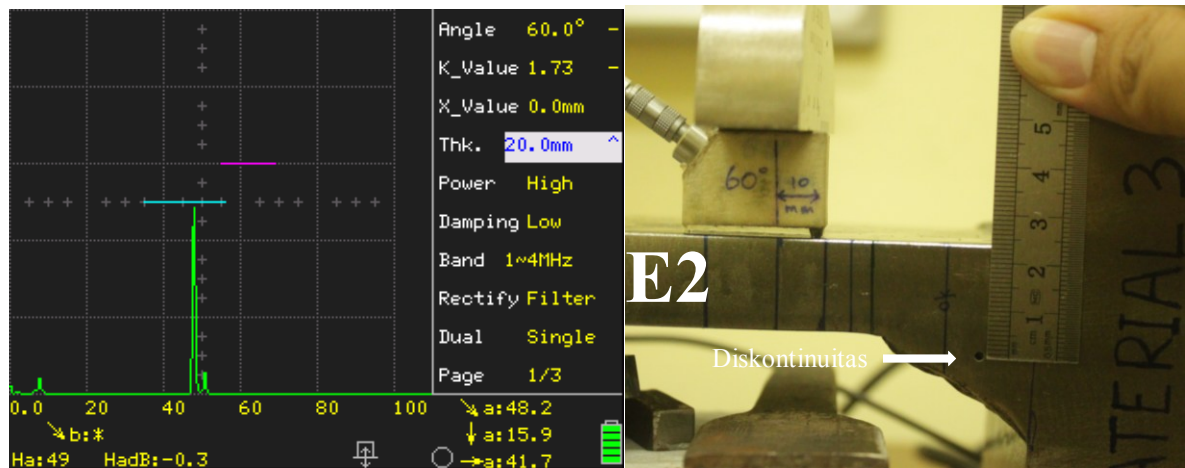
Gambar IV.102. Posisi probe 60° pada leg 1 di material 3 dari sisi E2.



Gambar IV.103. Posisi probe 60° pada leg 2 di material 3 dari sisi E2.



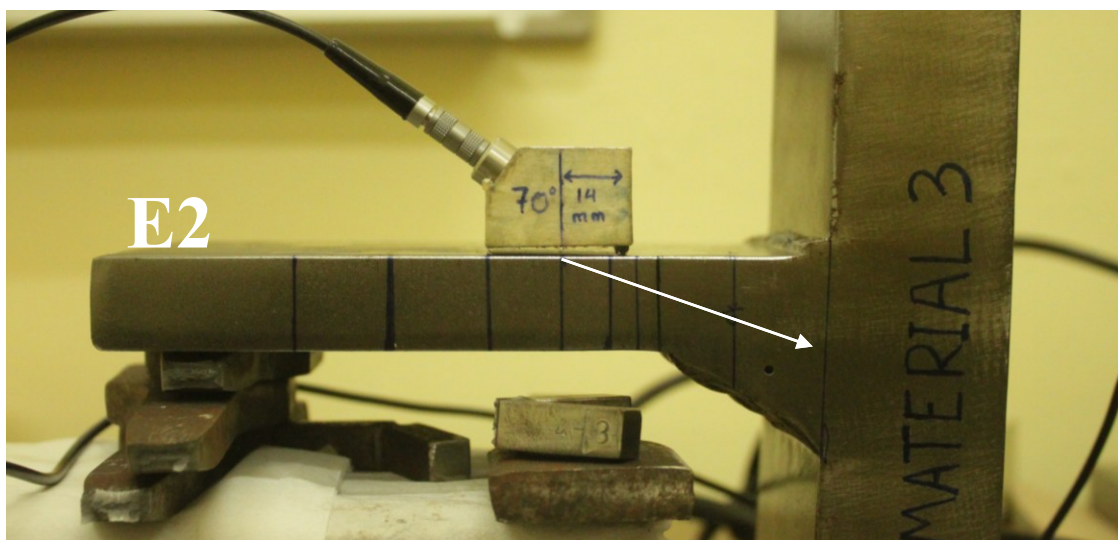
Gambar IV.104. Jarak valid, tetapi kedalaman tidak valid .



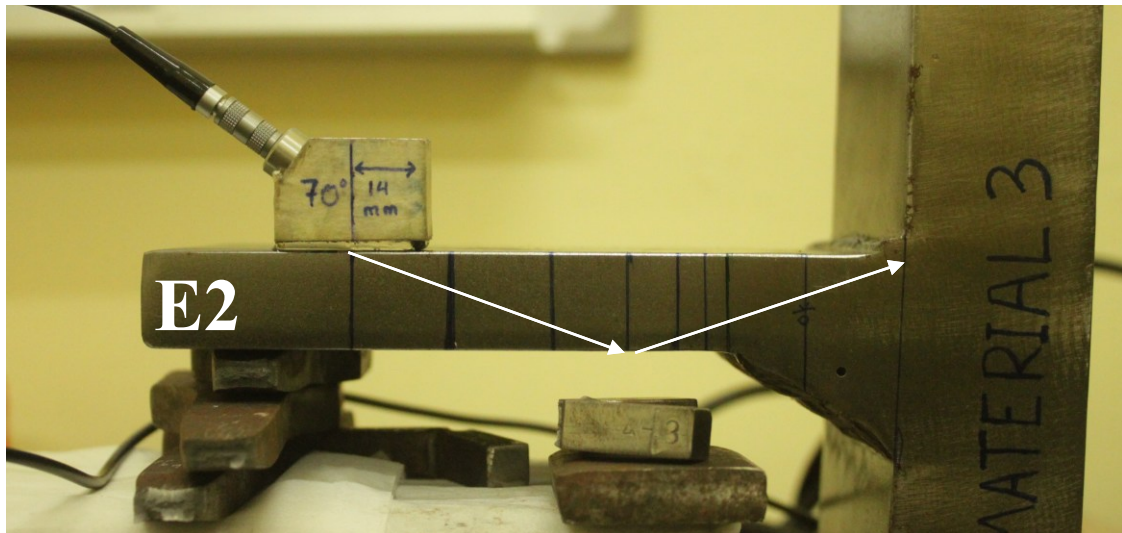
Gambar IV.105. Kedalaman dan jarak menjadi valid setelah *thickness* material ditambahkan.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.102 sampai Gambar IV.105, *probe* sudut 60° dapat menjangkau diskontinuitas dengan baik. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu penggunaan *probe* sudut 60° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi E2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi E2 :



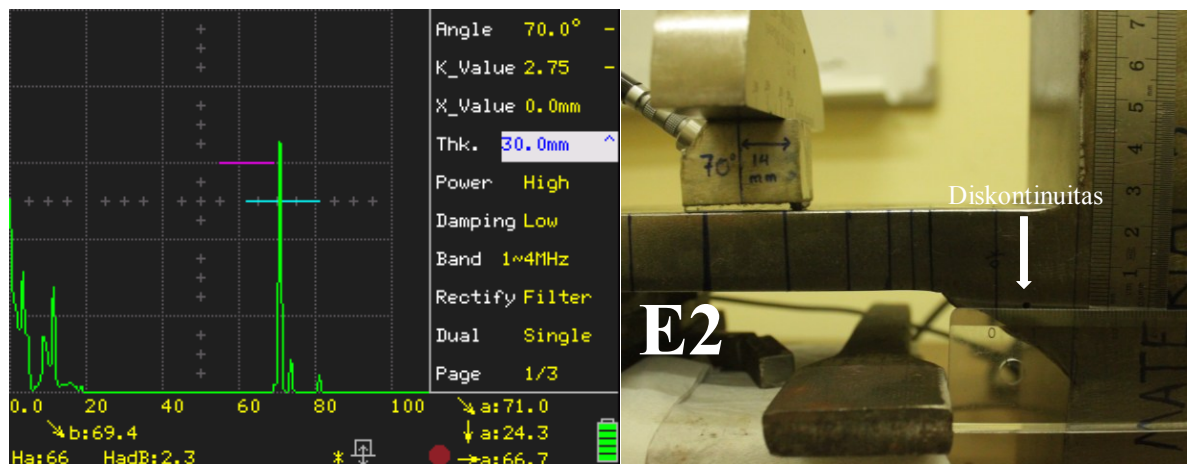
Gambar IV.106. Posisi *porbe* 70° pada leg 1 dimaterial 3 dari sisi E2.



Gambar IV.107. Posisi probe 70° pada leg 2.



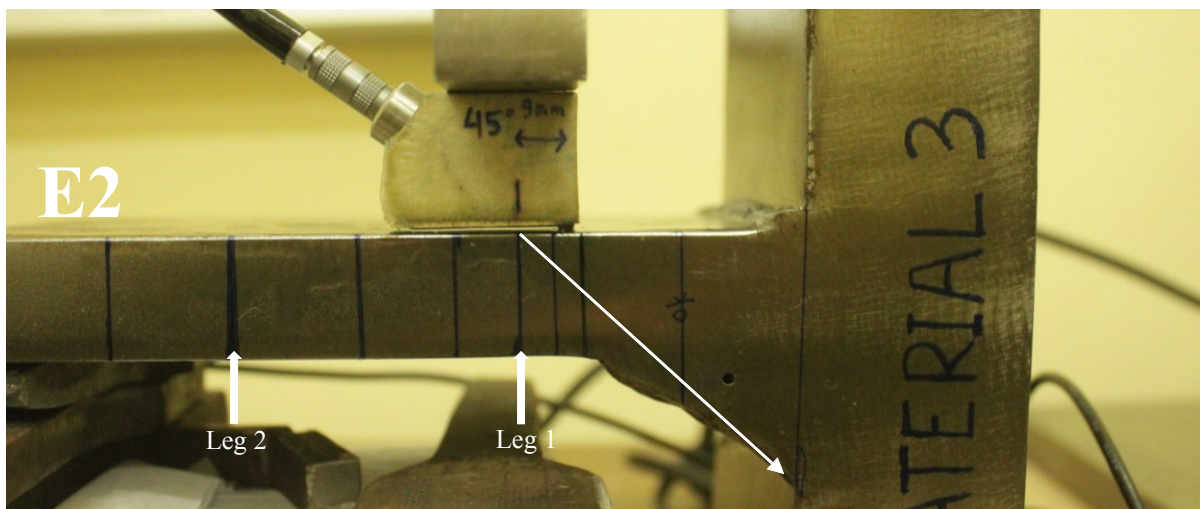
Gambar IV.108. Jarak diskontinuitas yang akurat tetapi kedalaman diskontinuitas tidak akurat.



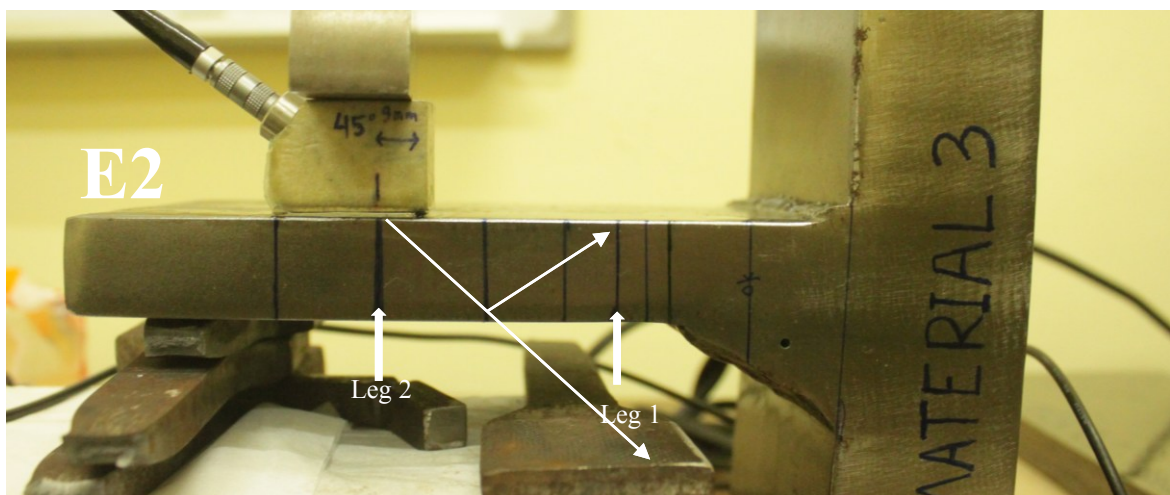
Gambar IV.109. Setelah kedalaman ditambahkan, kedalaman yang ditampilkan menjadi akurat.

Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti pada Gambar IV.106 sampai Gambar IV.109, *probe* sudut 70° dapat menjangkau diskontinuitas dengan baik dekat lokasi leg 1. Tebal material yang dimasukan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu penggunaan *probe* sudut 70° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi E2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat. *Probe* sudut 70° yang berada tepat atau mendekati leg 2 tidak dapat menjangkau lokasi diskontinuitas karena pancaran gelombang ultrasonik sudah dipantulkan terlebih dahulu sebelum menjangkau diskontinuitas.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi E2 dengan memasukkan $t = 45$ mm pada alat :



Gambar IV.110. Posisi *probe* 45° pada leg 1 dengan memasukkan $t = 45$ mm.



Gambar IV.111. Posisi *probe* 45° pada leg 2 dengan memasukkan $t = 45$ mm.

Tabel IV.11. Pengujian dari sisi E2 dengan $t = 20$ mm.



Sisi E2 ($t = 20$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

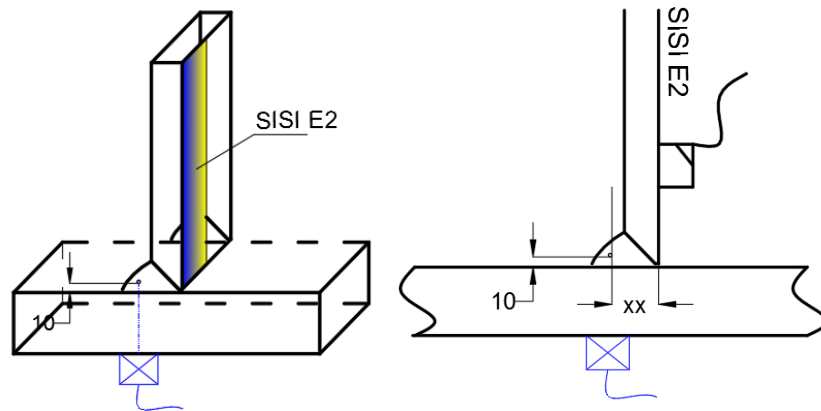
Tabel IV.12. Pengujian dari sisi E2 dengan $t = xx$ mm.

Sisi E2 ($t = xx$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

Tabel IV.13. Hasil pengujian dari sisi E2 *T joint* dengan $t = \infty$.

Sisi E2 ($t = \infty$)	Jarak	Kedalaman
45°		

Applicable = 
Not Applicable = 



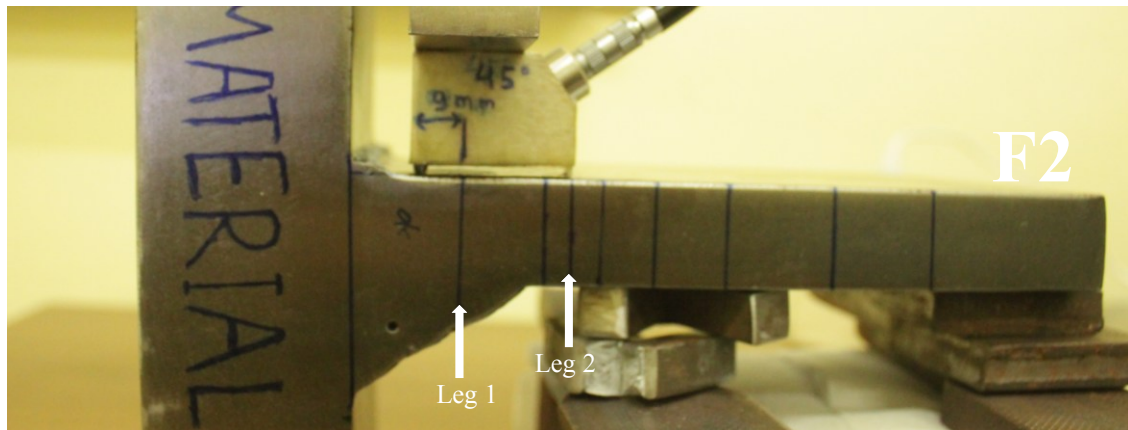
Gambar IV.112. Sisi pengujian dari sisi E2 dan sketsa xx.

Berdasarkan Tabel IV.11 penggunaan *probe* 45°, 60°, dan 70° dapat diaplikasikan dengan baik untuk mendeteksi jarak diskontinuitas terhadap *probe*. Penggunaan *probe* 45°, 60°, dan 70° dengan tebal material $t = 20$ mm tidak dapat mendeteksi kedalaman diskontinuitas dengan baik. Seperti pada Tabel IV.12, kedalaman yang diubah / ditambahkan minimum sebesar xx mm dapat mendeteksi kedalaman dan jarak diskontinuitas dengan baik melalui leg 1 oleh semua *probe*. Pada penggunaan tebal material $t = 45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 serta memasukkan tebal material tersebut pada alat tidak dapat diaplikasikan dengan baik untuk mendeteksi diskontinuitas menggunakan *probe* 45°. Ketika ketebalan yang dimasukkan pada alat diubah terlampaui jauh sampai tak hingga/ melebihi panjang las-lasan maka *probe* 45° tidak dapat mendeteksi jarak dan kedalaman dengan baik, seperti terlihat pada Tabel IV.13. *Probe* 60° dan 70° tidak digunakan karena leg 1 dan leg 2 yang

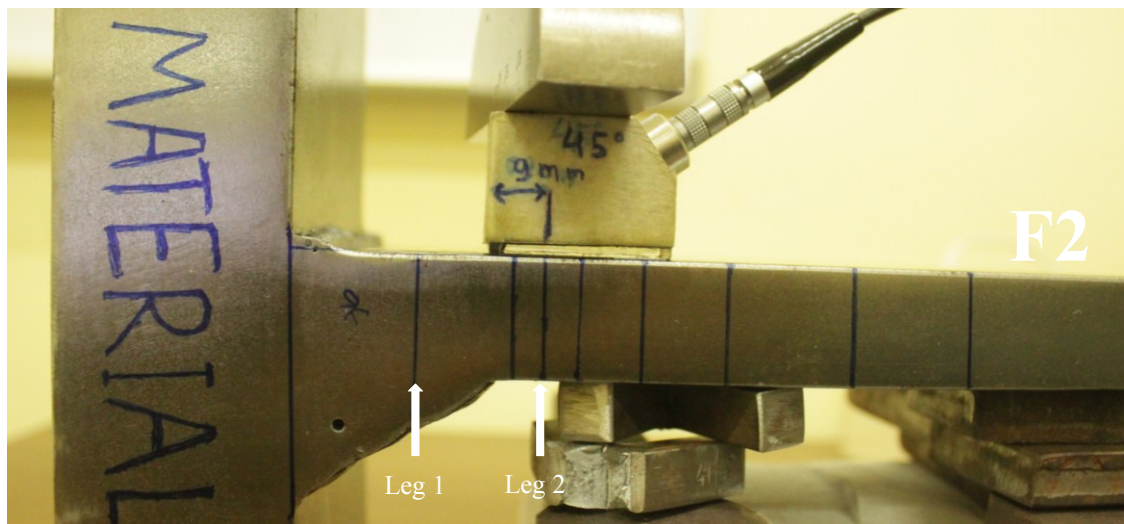
dihasilkan sangat jauh, sehingga hasil yang diperoleh menjadi kurang *applicable* dan membutuhkan ruang dan panjang material yang lebih. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan. Keterangan jarak xx dapat dilihat pada Gambar IV.112.

IV.9. Hasil Scanning Sisi F2 Pada Material *T Joint*

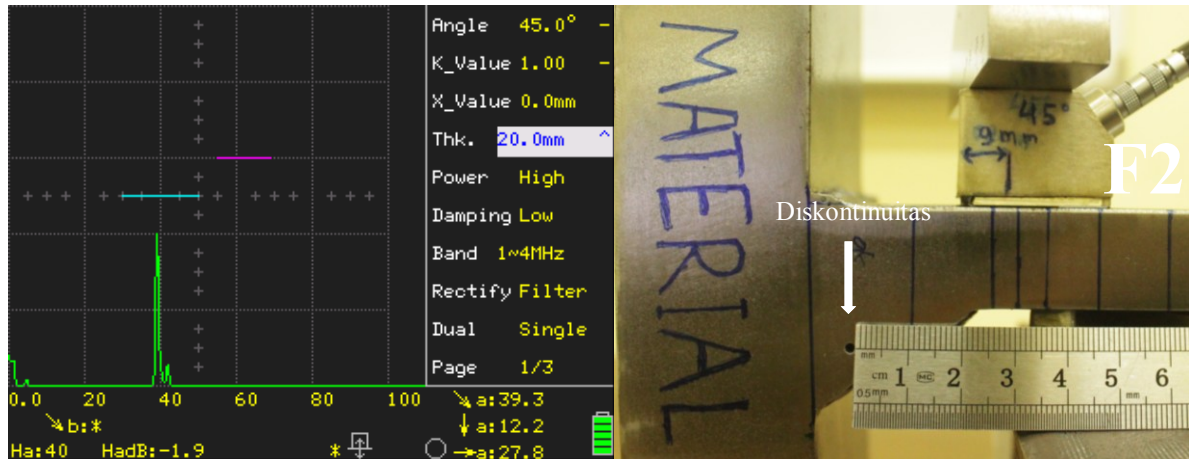
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 45° dari sisi F2 :



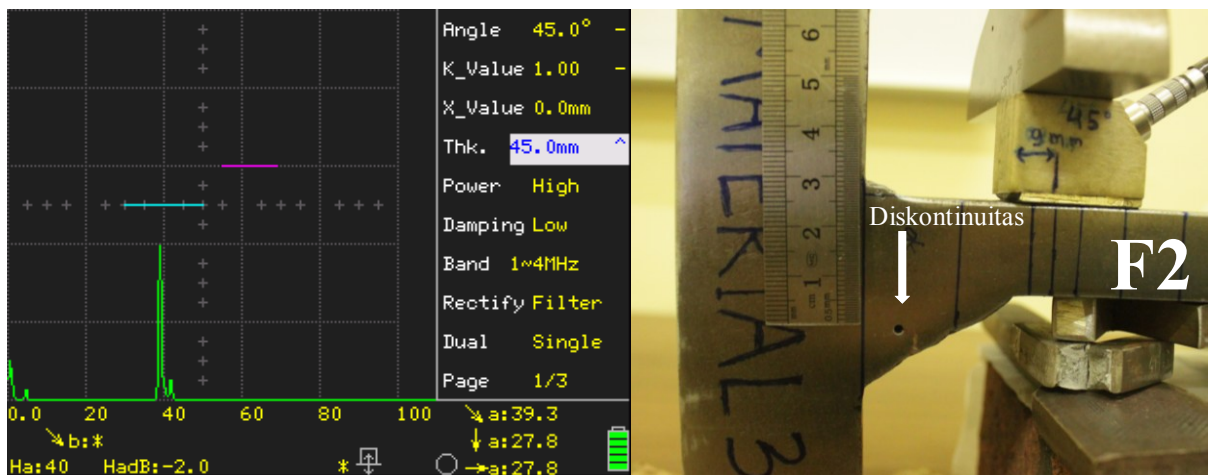
Gambar IV.113. Posisi *probe* 45° pada leg 1 dari sisi F2.



Gambar IV.114. Posisi *probe* 45° pada leg 2 dari sisi F2.



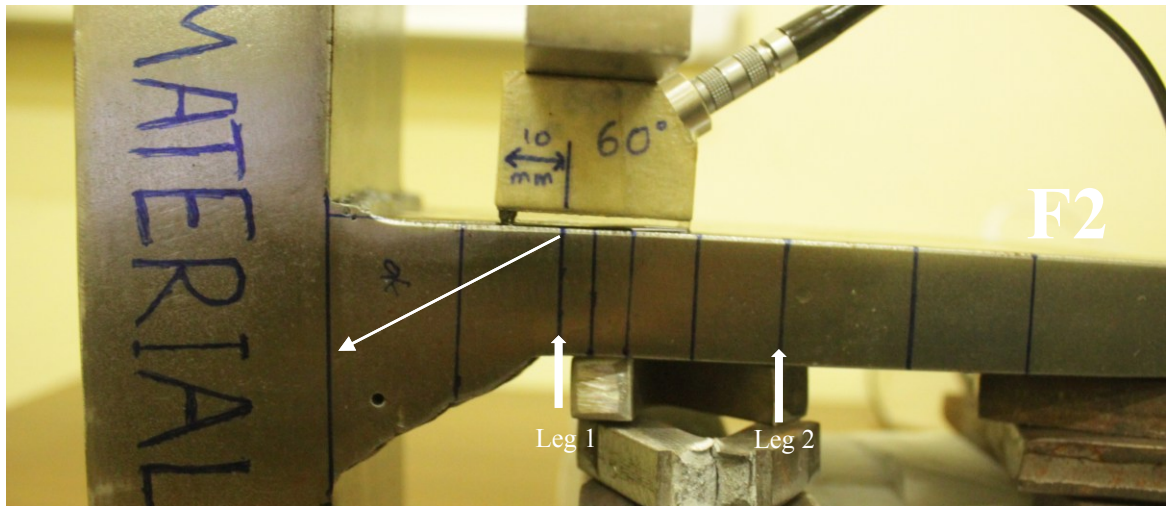
Gambar IV.115. Diskontinuitas dengan jarak yang valid, tetapi kedalaman tidak valid.



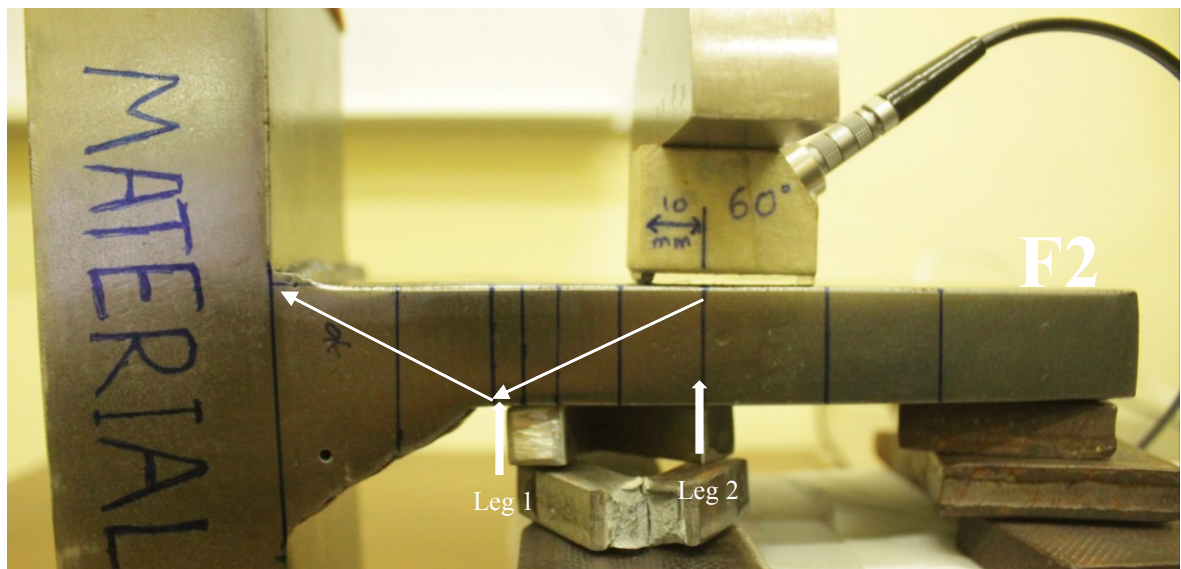
Gambar IV.116. Setelah ketebalan ditambahkan, kedalaman yang ditampilkan menjadi valid.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° seperti pada Gambar IV.113 sampai Gambar IV.116, *probe* sudut 45° dapat menjangkau diskontinuitas melalui leg 1. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu penggunaan *probe* sudut 45° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi E2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan probe 60° dari sisi F2 :



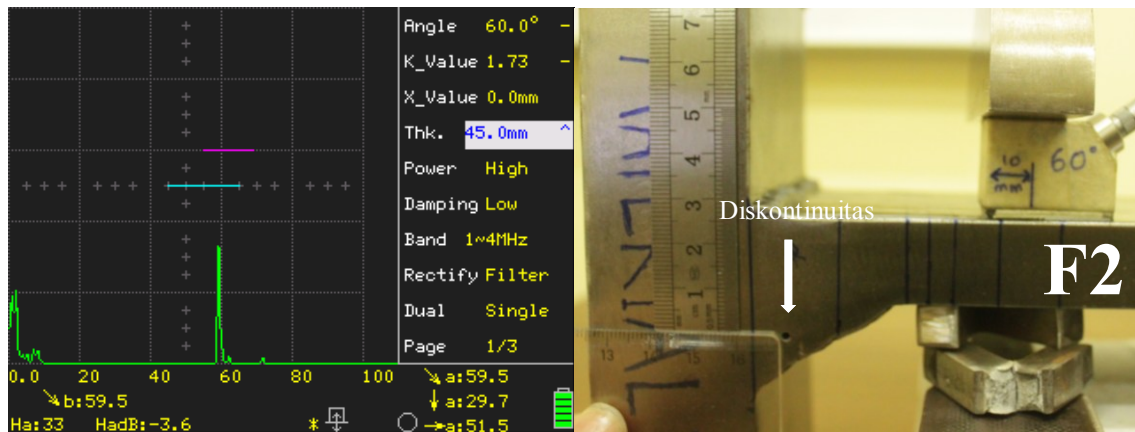
Gambar IV.117. Posisi probe 60° pada leg 1 dari sisi F2.



Gambar IV.118. Posisi probe 60° pada leg 2 dari sisi F2.



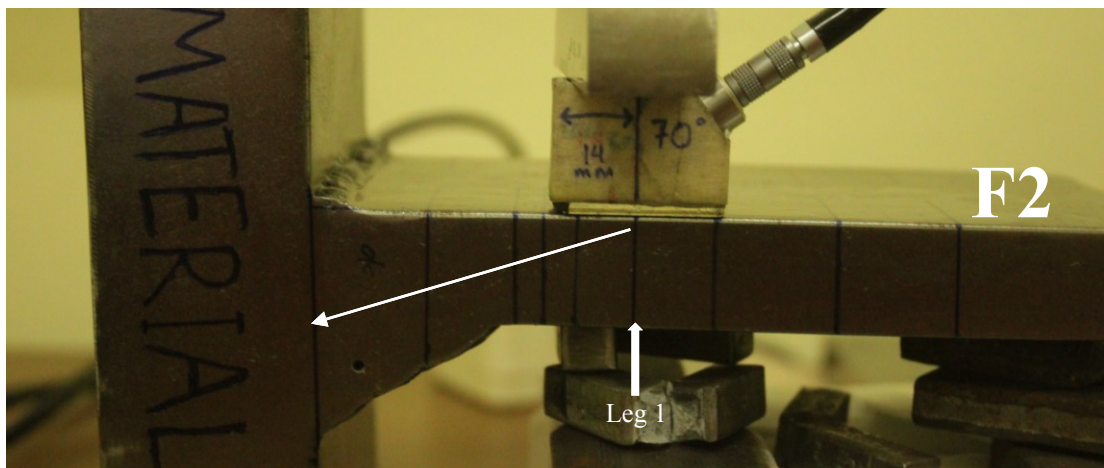
Gambar IV.119. Jarak diskontinuitas yang terbaca valid, tetapi kedalaman tidak valid.



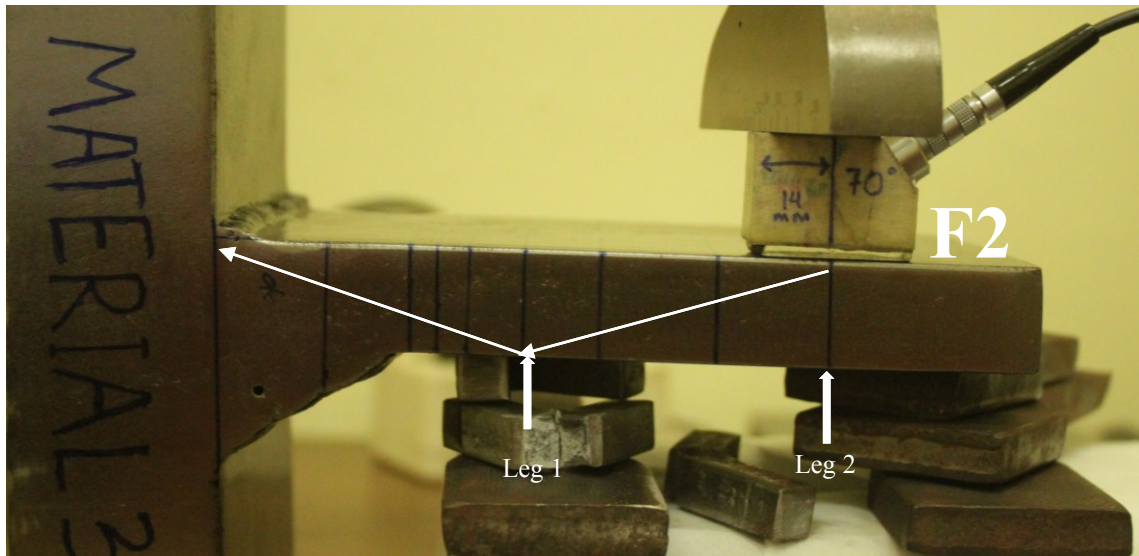
Gambar IV.120. Setelah ketebalan ditambahkan , kedalaman menjadi valid.

Pada penggunaan *probe* sudut 60° seperti pada Gambar IV.117 sampai Gambar IV.120, *probe* sudut 60° dapat menjangkau diskontinuitas dengan baik. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu penggunaan *probe* sudut 60° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi E2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat. Pada Gambar IV.118 *probe* yang telah mencapai leg 2 maka gelombang ultrasonik dipantulkan dan tidak dapat menjangkau lokasi diskontinuitas.

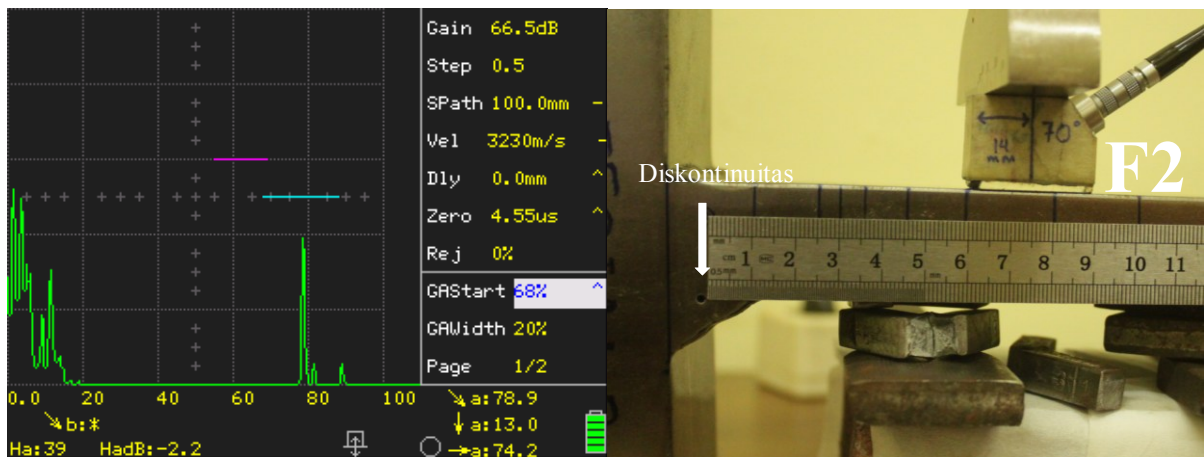
Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 70° dari sisi F2 :



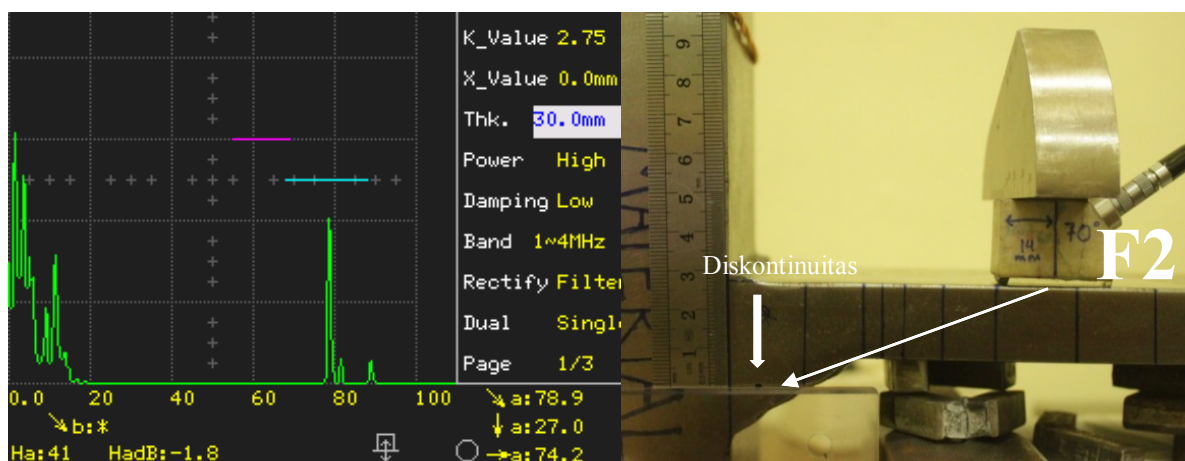
Gambar IV.121. Posisi *probe* 70° pada leg 1 dari sisi F2.



Gambar IV.122. Posisi *probe* 70° pada leg 2 dari sisi F2.



Gambar IV.123. Jarak diskontinuitas yang terbaca valid, tetapi kedalaman tidak.

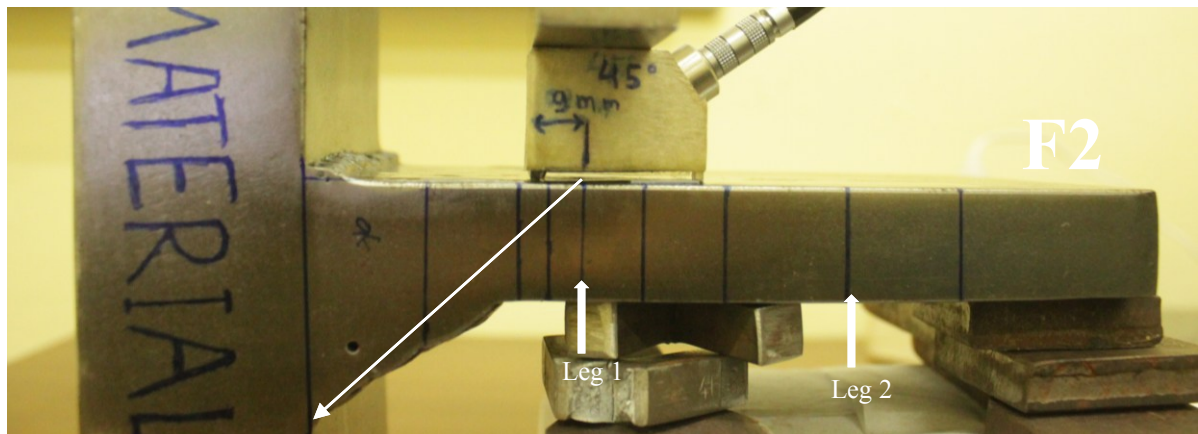


Gambar IV.124. Setelah *thickness* material ditambahkan kedalaman menjadi valid.

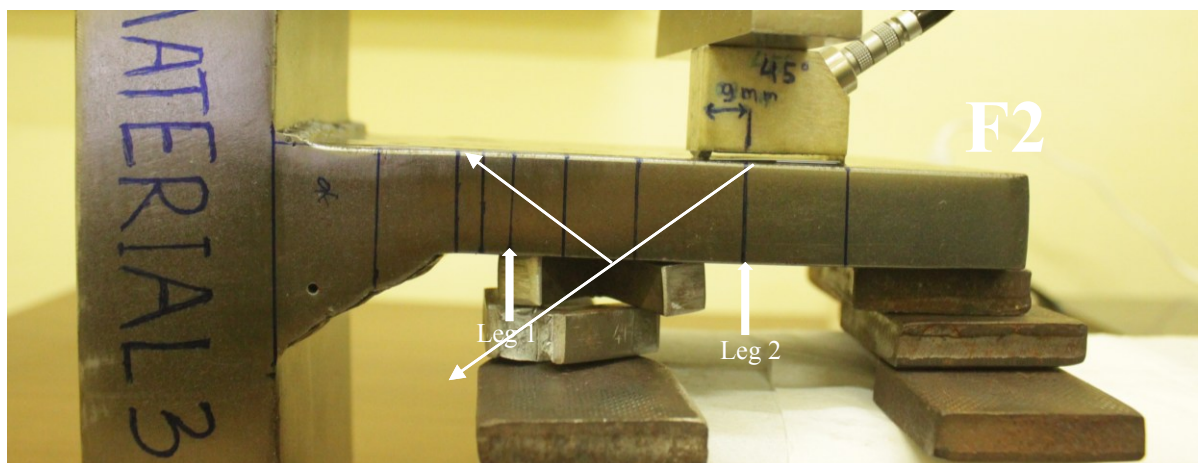
Pada penggunaan *probe* sudut 70° seperti pada Gambar IV.121 sampai Gambar IV.124, *probe* sudut 70° dapat menjangkau diskontinuitas dengan baik dekat lokasi leg 1. Tebal material yang dimasukkan dalam alat ialah tebal material induk yang sedang diuji (20 mm) oleh sebab itu

penggunaan *probe* sudut 70° tidak dapat diaplikasikan karena lokasi diskontinuitas berada diluar jangkauan/ lebih dari tebal material induk sisi F2. Ketika ketebalan ditambahkan minimum setebal xx seperti pada Gambar IV.112 maka diskontinuitas dapat dideteksi dengan akurat. *Probe* sudut 70° yang berada tepat atau mendekati leg 2 tidak dapat menjangkau lokasi diskontinuitas karena pancaran gelombang ultrasonik sudah dipantulkan terlebih dahulu sebelum menjangkau diskontinuitas.

Berikut adalah hasil dari pengujian yang dilakukan dengan *probe* 45° dari sisi F2 dengan memasukkan $t = 45 \text{ mm}$:



Gambar IV.125. Posisi leg 1 pada ketebalan material $t = 45 \text{ mm}$, tidak terdapat indikasi.



Gambar IV.126. Posisi leg 2 pada ketebalan material $t = 45 \text{ mm}$, tidak terdapat indikasi.

Pada penggunaan *probe* sudut 45° dari sisi F2 dengan menggunakan $t=45 \text{ mm}$ untuk membuat leg 1 dan leg 2 dan memasukkannya pada alat SIUI seperti pada Gambar IV.125 sampai Gambar IV.96Gambar IV.126, *probe* sudut 45° tidak bisa diaplikasikan. Hal ini dikarenakan ketiak *probe* berada pada leg 1, pancaran gelombang ultrasonik tidak dapat mencapai diskontinuitas/ terhalang oleh las-lasan sehingga tidak ada indikasi yang muncul. Untuk lokasi diskontinuitas dimana *probe* sudut 45° berada pada lokasi leg 2, diskontinuitas

tidak dapat dijangkau karena pembuatan leg 1 dan leg 2 pada lokasi ini menggunakan tebal $t=45$ mm. Pada posisi leg 2 seharusnya gelombang ultrasonik dapat dipantulkan dengan baik sesuai ketebalan yang dimasukkan dalam alat, tetapi kenyataannya tebal material yang ditemplei *probe* ialah 20 mm yang berakibat pada memantulnya gelombang ultrasonik tidak seperti yang diharapkan.

Tabel IV.14. Pengujian dari sisi F2 *T joint* dengan $t = 20$ mm.

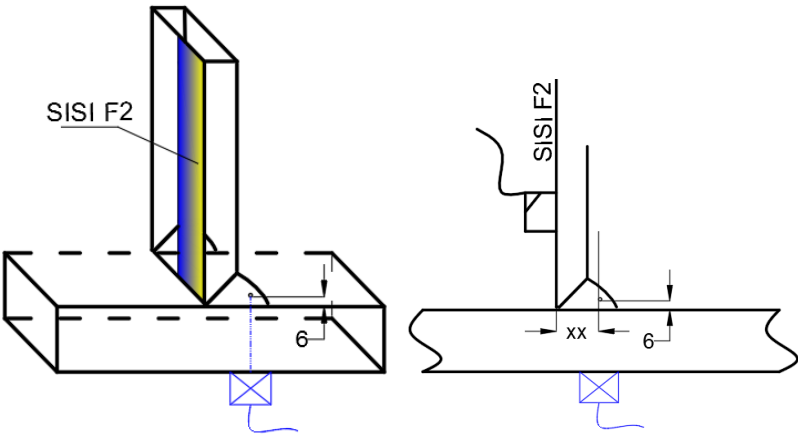
Sisi F2 ($t= 20$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

Tabel IV.15. Pengujian dari sisi F2 *T joint* dengan $t = xx$ mm.

Sisi F2 ($t= xx$ mm)	Jarak	Kedalaman
45°		
60°		
70°		

Tabel IV.16. Pengujian dari sisi F2 *T joint* dengan $t = \infty$ mm.

Sisi F2 ($t= \infty$)	Jarak	Kedalaman
45°		



Gambar IV.127. Sisi pengujian dari sisi E2 dan sketsa xx.

Berdasarkan Tabel IV.14 penggunaan *probe* 45°, 60°, dan 70° dapat diaplikasikan dengan baik untuk mendeteksi jarak diskontinuitas terhadap *probe*. Penggunaan *probe* 45°, 60°, dan 70° dengan tebal material $t = 20$ mm tidak dapat mendeteksi kedalaman diskontinuitas dengan baik seperti terlihat pada Tabel IV.15. Kedalaman material yang diubah/ ditambahkan minimum sebesar xx mm pada alat dapat mendeteksi kedalaman dan jarak diskontinuitas dengan baik melalui leg 1 oleh semua *probe*. Pada penggunaan tebal

material $t = 45$ mm untuk membuat leg 1 dan leg 2 serta memasukkan tebal material tersebut pada alat tidak dapat diaplikasikan dengan baik untuk mendeteksi diskontinuitas menggunakan *probe* 45° . Ketika ketebalan yang dimasukkan pada alat diubah terlampau jauh sampai tak hingga/ melebihi panjang las-lasan maka *probe* 45° tidak dapat mendeteksi jarak dan kedalaman dengan baik, seperti terlihat pada Tabel IV.16. *Probe* 60° dan 70° tidak digunakan karena leg 1 dan leg 2 yang dihasilkan sangat jauh, sehingga hasil yang diperoleh menjadi kurang *applicable* dan membutuhkan ruang dan panjang material yang lebih. *Applicable* berarti *probe* sudut dapat digunakan dengan baik, sedangkan *Not Applicable* adalah *probe* sudut tidak dapat digunakan. Keterangan jarak xx dapat dilihat pada Gambar IV.112.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

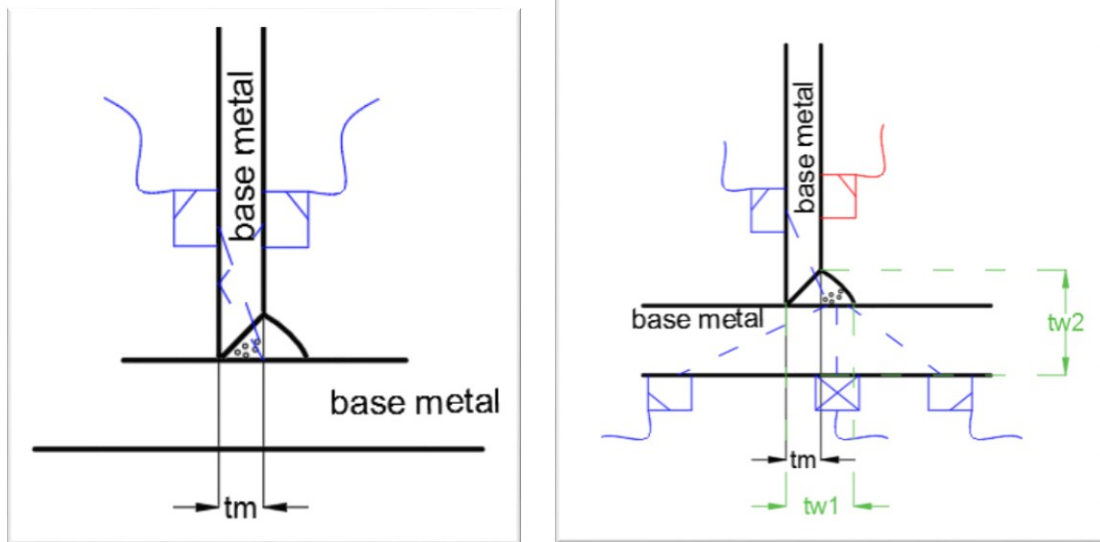
V.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Butt Joint

1. Berdasarkan jenis sambungan las-lasan yang digunakan maka metode yang menunjukkan keakuratan *probe* paling baik adalah *probe* 60° dan 70°.
2. *Probe* yang dipakai pada kondisi material yang kurang kuplan, permukaan tidak rata, dan miring mengakibatkan hasil pengujian yang tidak akurat.
3. Sisi yang lebih tebal sangat optimal untuk dilakukan inspeksi dibandingkan dengan sisi yang lebih tipis.
4. Jenis sambungan dan bentuk material sangat berpengaruh terhadap hasil dari pengujian ultrasonik.
5. Berdasarkan hasil *artificial defect* / cacat buatan, semua *probe* dapat menggapai lokasi diskontinuitas apabila kondisinya sesuai dengan arah pancaran gelombang ultrasonik.
6. Pada sambungan las-lasan tanpa *chamfer*, *probe* yang paling baik untuk digunakan adalah *probe* 60° dan 70° dari sisi yang lebih tebal (sisi B1 dan B2).
7. Pada sambungan las-lasan material dengan *chamfer*, *probe* yang paling digunakan adalah 60° dan 70° dari sisi tebal maupun sisi yang lebih tipis (sisi C1, D1, C2, dan D2)

T Joint



1. Untuk menentukan lokasi diskontinuitas menggunakan *probe* normal terlebih dahulu kemudian diteliti lebih lanjut menggunakan *probe* sudut dengan tebal material $tw1$ atau $tw2$.
2. Pada sambungan las-lasan *T Joint*, sisi E1 dan F1 tidak dapat dilakukan pengujian dengan *probe* 45° , 60° , maupun 70° . Sisi yang paling optimal untuk dilakukan pengujian ialah E2 dan F2, tetapi kedalaman diskontinuitas tidak dapat dideteksi dengan baik karena ketinggian/ lokasi diskontinuitas melebihi tebal material.
3. Untuk lokasi diskontinuitas yang berada dalam tm (tebal material), *probe* sudut yang valid digunakan ialah *probe* sudut 70° dari sisi E1 dan F1, sedangkan dari sisi E2 dan F2 *probe* yang valid digunakan ialah 45° dan 60° .
4. Untuk lokasi diskontinuitas yang berada diluar tm (tebal material) seluruh *probe* sudut tidak dapat diaplikasikan dengan menggunakan $t=tm$.

V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan agar percobaan berikutnya bisa lebih baik adalah :

1. Variasi sambungan las dapat ditambahkan agar lebih banyak.
2. Penambahan jenis material seperti aluminium agar dapat menginspeksi seperti jenis kapal *fast patrol*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook vol 17. (1997). *Nondestructive Evaliation and Quality Control*. Ohio. American Society of Metal (ASM).
- AWS D1.1/D1.M:2015. (2015). *Structural Welding Code – Steel*. American Welding Society (AWS).
- Baktianto, S. T. (2015). Tugas Akhir. *Studi Perbandingan Ketelitian dan Kecepatan Pengujian UT Konvensional dengan UT Phased Array (PA) Pada Pengelasan Sambungan Tumpul Pada Pelat Alas dan Geladak Kapal*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Berke, M. (1992). *Nondestructive Material with Ultrasonic – Introduction to the Basic Principles*. Krautkramer. Berlin : Springer-Verlag.
- Birks, R. E. G. Jr dan McIntire P. (1991). *Nondestrcutive Testing Handbook – Second Edition – Volume 7 Ultrasonic Testing*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Hellier, C. J. (2003). *Handbook of Nondestructive Evaluation*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Krautkramer J dan Krautkramer H. (1990). *Ultrasonic Testing of Materials*. Berlin: Springer-Verlag.
- Mix, P. E. (2005). *Introduction to Nondestructive Testing- A Training Guide Second Edition* . New Jersey: John Wiley and Sons Inc.Publication.
- Moore P. O., dkk. (2012). *Nondestructive Testing Handbook*. Columbus: ASNT Inc.
- NDT Resource Center. (2016, Agustus 22). *Introduction To Ultrasonic Testing*. Retrieved August 23, 2016, from NDT Resource Center web site: [http:// www.nde-ed.org](http://www.nde-ed.org)
- Putra, W. H. A. (2013). *Training Handout Ultrasonic testing - General*. Surabaya: NDE Center ITS.
- Railway, C. (February 2006). *Non Destructive Testing and Inspection Manual*. Denmark: RAMBOLL.
- Smilie, R. W. (1995). *Programmed Instruction Handbook, Nondestructive Testing – Introduction*. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.

- Smilie, R. W. (1995). *Programmed Instruction Handbook, Nondestructive Testing – Ultrasonic Volume I Basic Principles*. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- Smilie, R. W. (1995). *Programmed Instruction Handbook, Nondestructive Testing-Ultrasonic Volume III-Applications*. South Harrisburg: PH Diversified.
- Spaulding, W dan Wheeler G. C. (2002). *ASNT Level II Study Guide-Ultrasonic Testing Method*. Columbus: ASNT.
- Trethewey, K. R dan Chamberlain J. (1991). *Korosi, Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Willcox, M dan Downes G. (2003). *A Brief Description of NDT Techniques*. Hereford: Insight NDT.
- Wiryosumarto, H dan Okumura T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Edisi ke-delapan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan putra kelahiran Bandar Lampung, 2 November 1993 bernama lengkap Try Arismunandar, anak ketiga dari pasangan Bpk. Nawawi, S.Sos dan Ibu Husna Dewi, S.Pd. Penulis mengenyam pendidikan taman kanak-kanak pada tahun 1999 di TK kompleks transmigrasi Labuhan Ratu Bandar Lampung, selanjutnya SD Negeri 3 Labuhan Ratu, kemudian SMP N 8 Bandar Lampung, kemudian SMA YP Unila Bandar Lampung, dan pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Departemen Teknik Perkapalan,

Fakultas Teknologi Kelautan, melalui jalur SNMPTN-Tulis.

Sejak SMA penulis bergabung di organisasi Taekwondo SMA YP Unila, ketika di bangku kuliah penulis juga aktif di berbagai kegiatan baik nasional maupun tingkat institut. Selama kuliah penulis pernah menjadi Kepala Divisi Multimedia Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan ITS (Himatekpal-ITS) , dan tim kreatif NASDARC (*National Ship Design and Race Competition*).

Dalam Departemen Teknik Perkapalan ITS, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan dengan konsentrasi pada konstruksi. Sebagai Mahasiswa dengan NRP 4112100055 penulis juga mengikuti berbagai pelatihan : pelatihan LKMM Pra-TD, pelatihan autoCAD, Maxsurf, ANSYS, Marine Coating PT. Propan Sidoarjo, dan memiliki sertifikat NDT Level II *Ultrasonic Testing Method*.

Untuk memenuhi syarat menjadi sarjana teknik, penulis mengambil Judul Tugas Akhir “TEKNIK PENGUJIAN ULTRASONIK UNTUK DAERAH LAS-LASAN BERBEDA KETEBALAN MATERIAL INDUK PADA PONDASI MESIN KAPAL”.

Email : try.arismunandar12@mhs.na.its.ac.id

Mobile phone : +62812-1637-0903